



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

VÝZKUM V OBLASTI PŘÍPRAVY ZDÍCÍCH MALT

RESEARCH ON THE PREPARATION OF MASONRY MORTARS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

TOMÁŠ KOLÁČEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. DOMINIK GAZDIČ, Ph.D.

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607R020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Tomáš Kolářček
Název	Výzkum v oblasti přípravy zdících malt
Vedoucí práce	Ing. Dominik Gazdič, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2016
Datum odevzdání	26. 5. 2017

V Brně dne 30. 11. 2016

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

České technické normy – ČSN EN 998-2. Technické listy produktů.

DUDA, H.,W., Cement Data-book, Bauverlag GmbH Wiesbaden und Berlin, 1975

HLAVÁČ, J., Základy technologie silikátů, 1. vydání. Praha: SNTL, 1981.

Munoz-Ruiperez, C., Rodriguez, A., Gutierrez-Gonzalez, S., Calderon, V. Lightweight masonry mortars made with expanded clay and recycled aggregates, CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS, Volume 118, Pages 139-145, 2016.

HEWLETT, P.,C., Lea's Chemistry of Cement and Concrete, Fourth Edition, ISBN-13 978-0-7506-6256-7.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

V návaznosti na předchozí etapu řešení na ústavu THD je cílem bakalářské práce výzkum v oblasti přípravy zdících malt. Konkrétně se jedná o ověření technologických vlastností navržených surovinových směsí a provedení optimalizace dávkování jednotlivých složek a modifikujících přísad.

Zásady pro vypracování:

- studium teoretických podkladů na dané téma prostřednictvím dostupné literatury,
- rešerše běžně dostupných zdících malt – typy zdících malt, technické parametry, způsoby zpracování a aplikace,
- popis normových požadavků dle ČSN EN 998-2,
- ověření koncepce základní surovinové báze, optimalizace dávkování,
- optimalizace dávky modifikujících přísad,
- stanovení technologických vlastností, porovnání s normovými požadavky,
- vyhodnocení dosažených výsledků, doporučení pro další výzkum.

Rozsah práce cca 40 stran formátu A4 včetně příloh.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. Dominik Gazdič, Ph.D.

Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá vývojem v oblasti přípravy zdících malt. V teoretické části se zaměřuje na základní poznatky o maltách, na jednotlivé druhy malt, způsoby přípravy a jednotlivé složky, ze kterých se malta pro zdění skládá. V praktické části se pracuje s navrženými referenčními a modifikovanými maltovými směsmi a porovnávají se jejich technologické vlastnosti.

KLÍČOVÁ SLOVA

Malta, malta pro zdění, suchá maltová směs, vápno, cement, cement pro zdění, přísady, příměsi

ABSTRACT

This thesis deals with development in the preparation of masonry mortars. The theoretical part focuses on basic knowledge of mortars, individual types of mortar, preparation methods and individual components from which the mortar is composed. The practical part deals with the proposed reference and modified mortar mixtures and compares their technological properties.

KEYWORDS

Mortar, masonry mortar, dry mortar mixture, lime, cement, masonry cement, additives, admixtures

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

KOLÁČEK, Tomáš. *Výzkum v oblasti přípravy zdících malt*. Brno, 2017. 59 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Ing. Dominik Gazdič, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně, a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 25. 5. 2017

Tomáš Koláček

autor práce

PODĚKOVÁNÍ:

Za odborné vedení a podporu při řešení bakalářské práce děkuji Ing. Dominiku Gazdičovi Ph.D. a dalším členům Ústavu stavebních hmot a dílců, kteří mi byli při zpracování nápomocni. V neposlední řadě patří velké poděkování mé rodině, především rodičům, kteří mě po celou dobu podporovali.

Obsah

Úvod	11
I. Teoretická část	12
1. Malty obecně	12
1.1. Rozdělení malt podle použití	12
1.2. Rozdělení malt dle pojiva	12
1.3. Rozdělení dle objemové hmotnosti	13
1.4. Rozdělení dle tříd pevnosti.....	13
1.5. Rozdělení tepelně izolačních malt	13
1.6. Dle druhu přípravy:	14
1.6.1. Suchá maltová směs	14
1.6.2. Suchá malta volně ložená v silech	14
1.6.3. Dovoz čerstvé malty autodomíchávači	15
1.7. Druhy malt pro zdění dle spojovaného materiálu	15
1.7.1. Zdění z maloformátových cihel.....	15
1.7.1.1. Malty pro zdění vnitřních nosných stěn a pilířů	15
1.7.1.2. Malty pro vnější zdivo.....	15
1.7.1.3. Malty pro vnitřní nenosné tenké příčky.....	15
1.7.1.4. Malty pro zdění komínů, udíren a krbů.....	16
1.7.2. Zdění stěn z cihelných bloků typu THERM.....	16
1.7.2.1. Malty pro nosné vnitřní stěny a pilíře.....	16
1.7.2.2. Malty pro zdění vnějších stěn.....	16
1.7.2.3. Malty pro zdění tenkých příček	16
1.7.3. Zdění z broušených cihel.....	17
1.7.3.1. Příprava maltového lože na položení první vrstvy zdiva	17
1.7.3.2. Malty pro další vrstvy zdiva z broušených cihel	17
1.7.4. Klimatické podmínky pro zdění.....	18
2. Požadavky na malty dle normy ČSN EN 998 Specifikace malt pro zdivo..	18
2.1. ČSN EN 998 – Část 1: Malty pro vnitřní a vnější omítky definuje:	18
2.1.1. Malta pro vnitřní a vnější omítky:.....	18
2.1.2. Průmyslově vyráběná malta pro vnitřní/vnější omítky:.....	19
2.2. ČSN EN 998 – Část 2: Malty pro zdění definuje:	19
2.2.1. Malta pro zdění:.....	19
2.2.2. Čerstvá malta pro zdění:	19

2.2.3.	Obyčejná malta pro zdění (G):	19
2.2.4.	Malta pro zdění pro tenké spáry (T)	19
2.2.5.	Lehká malta pro zdění (L).....	19
2.2.6.	Průmyslově vyráběná malta pro zdění:	19
2.2.7.	Staveništní malta pro zdění:	19
2.3.	Požadavky na malty pro zdění	19
3.	Hlavní složky malt.....	21
3.1.	Anorganické pojiva.....	21
3.1.1.	Vlastnosti maltovin	21
3.1.2.	Vzdušné vápno.....	21
3.1.3.	Hydraulické vápno	23
3.1.4.	Cement.....	24
3.1.4.1.	Cement pro zdění:.....	25
3.2.	Plniva	27
3.2.1.	Přírodní plniva	27
3.2.1.1.	Písek.....	27
3.2.2.	Umělé plniva.....	27
3.2.2.1.	Keramzit.....	27
3.2.2.2.	Expandovaný perlit.....	28
3.2.2.3.	Agloporit.....	28
3.2.3.	Recyklovaná plniva	28
3.2.3.1.	Struska.....	28
3.2.3.2.	Cihelná drť	28
3.3.	Záměsová voda	29
3.4.	Přísady do malt	29
3.4.1.	Plastifikátory	30
3.4.2.	Ztekucovače	31
3.4.3.	Zpomalovače tuhnutí	31
3.4.4.	Urychlovače tuhnutí a tvrdnutí	32
3.4.5.	Provzdušňovací přísady	32
3.4.6.	Odpěňovací přísady	33
3.4.7.	Hydrofobizační přísady.....	33
3.4.8.	Stabilizační přísady	34
3.4.9.	Pěnotvorné přísady	34
3.5.	Příměsi do malt	35
3.5.1.	Rozdělení pucolánů.....	35
3.5.2.	Vybrané technogenní příměsi.....	35

3.5.2.1. Metakaolin.....	35
3.5.2.2. Elektrárenské popílky.....	35
3.5.2.3. Křemičité úlety – mikrosilika.....	36
3.5.2.4. Granulovaná vysokopecní struska	36
3.5.2.5. Cihelný prach a drť.....	36
II. Experimentální část	37
4. Cíl práce	37
5. Metodika	37
6. Postup prací	37
7. Použité suroviny a přístroje	40
7.1. Suroviny	40
7.2. Použité přístroje	41
8. Vyhodnocení výsledků.....	44
8.1. Sypná hmotnost a granulometrický rozbor suché maltové směsi	44
8.2. Množství záměsové vody a rozlití	46
8.3. Objemová hmotnost čerstvé směsi	48
8.4. Objemová hmotnost a pevnosti po 7 a 28 dnech hydratace	49
8.5. Aplikační zkouška	51
9. Diskuze výsledků	53
10. Závěr	54
Seznam použité literatury:	55
Seznam obrázků:	58
Seznam grafů:	58
Seznam tabulek:.....	59

Úvod

Tak jako v každém odvětví i ve stavebnictví dochází s časem a vývojem nových technologií výroby či aplikace k neustálému posunu a vylepšení.

Malta je stavivo staré jako lidstvo samo. Již ve starověku stavitelé využívali maltu ke spojování kamenných bloků nebo hliněných cihel. Stavitelé z historie objevovali a experimentovali s různými druhy pojiv, nejdříve využívali malt hliněných, vápenných, sádrových a s objevením cementu v 19. století i malt cementových. Příprava těchto malt byla prováděna „in situ“ z jednotlivých výchozích surovin. Kvalita a vlastnosti připravených malt záležely na znalostech a zkušenostech stavitelů.

S rozvojem vědy a techniky v oblastech organické i anorganické chemie, jenž vedl k vývoji nepřeberného množství přísad, které jsou schopné cíleně modifikovat vlastnosti stavebních hmot. Proto v posledních desetiletích 20. století došlo k rozvoji průmyslově vyráběných maltových směsí. Tyto směsi výrazně přispěly ke snížení pracnosti stavebních činností a její zefektivnění a vytlačily staveništní malty na okraj zájmu, a to i za předpokladu vyšších nákladů při použití průmyslových malt.

A právě vyšší náklady na pořízení průmyslových malt vedly k dalšímu výzkumu, jehož předmětem bylo hledání kompromisu mezi cenou a udržitelnými vlastnostmi. Tohoto faktu se docílilo využitím odpadních materiálů z výrobních průmyslových odvětví. Užití těchto „odpadů“ má i další pozitivní fakt, a to snížení ekologického dopadu. Výroba stavebních hmot je průmyslové odvětví nesmírně zatěžující životní prostředí.

Nahrazením některé ze složek maltových směsí odpadním materiálem, optimalizací dávkování jednotlivých složek a modifikujících přísad a ověřením jejich technologických vlastností se zabývá i tato práce.

I. Teoretická část

1. Malty obecně

Malty jsou důležitým stavivem používaným ve stavebnictví. Jsou tradičním stavebním materiálem sloužícím ke spojování stavebních prvků, k ochraně a úpravě povrchů staveb, k těsnění dutin, spár, k izolaci před teplotami, vodou a agresivním prostředím a k ochraně výztuže.

Maltou se nazývá zatvrdlá směs pojiva, plniva, vody a přísad. V čerstvém stavu má formu nejčastěji plastické kaše, výjimečně tekuté konzistence a nazývá se čerstvou maltou. U některých druhů malt může chybět jedna ze tří základních složek, jako např. hliněné malty nemají plnivo, nebo některé malty s organickými pojivy se nerozdělávají s vodou. Někdy se přidávají vhodné přísady upravující jejich vlastnosti. [1]

Malta může být z výchozích složek vyráběna přímo na staveništi (staveništní malta) nebo se ke stejnému účelu použije továrně předem vyrobená směs anorganických pojiv, plniv, příměsí a přísad (suchá maltová směs), která se na staveništi už pouze rozmíchává s vodou. Třetí možností je výroba kompletní malty (ze všech složek včetně vody) v centrální výrobě. Takto vyrobená malta se pak na místo dalšího použití dopravuje jako mokrá maltová směs. [2]

1.1. Rozdělení malt podle použití

Malty dle použití můžeme rozdělit do 3 skupin. Jsou to malty pro zdění, kterými se budu podrobněji zabývat. Další skupinou jsou malty pro omítání a malty pro specifické stavební účely.

1.2. Rozdělení malt dle pojiva

- vápenné
 - obyčejné MV
 - jemné MVJ,
- vápenocementové
 - obyčejné MVC,

- jemné MVCJ
- pro šlechtěné omítky MVCO,
- vápenosádrové MVS,
- sádrové MS,
- cementové
 - obyčejné (hrubé) MC
 - pro cementový postřik MCP,
- polymercementové malty
- hliněné malty

1.3. Rozdělení dle objemové hmotnosti

- malty tepelně izolační do $1100 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
- malty vylehčené do $1600 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
- malty obyčejné do $2300 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
- malty těžké nad $2300 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

1.4. Rozdělení dle tříd pevnosti

Tabulka 1: Třídy malt [3].

Třída	M 1	M 2,5	M 5	M 10	M 15	M 20	M d
pevnost v tlaku [MPa]	1	2,5	5	10	15	20	d
d – je pevnost v tlaku větší než 25 MPa deklarovaná výrobcem							

1.5. Rozdělení tepelně izolačních malt

- tepelně izolační $\lambda \leq 0,4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$,
- vysoce tepelně izolační $\lambda \leq 0,25 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$,
- mimořádně tepelně izolační $\lambda \leq 0,14 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

Dále můžeme malty dělit dle požadavků na další vlastnosti:

Na mrazuvzdorné, vodotěsné či propustné vůči vodním parám, dále malty se zvláštními vlastnostmi nebo malty pro zvláštní použití (brizolitové omítky, umělý kámen, barytové malty, žárovzdorné malty aj.). [4]

1.6. Dle druhu přípravy:

1.6.1. Suchá maltová směs

Jedná se o tradiční a velmi rozšířený způsob přípravy malty. Malta se vyrábí přímo na staveništi smícháním suché směsi s předepsaným množstvím vody ve stavební míchačce. Hlavními výhodami tohoto způsobu jsou zejména snadná skladovatelnost pytlů, snadná doprava na staveniště i v malém množství a snadná manipulace v rámci staveniště.

Mezi nevýhody zařadíme nutnost dalšího domíchávání ve stavební míchačce (spotřeba elektřiny, vody a času pracovníků), dále pak závislost výsledné kvality na zkušenostech pracovníků na stavbě (hodně vody, málo vody apod.) a zbylé obaly, které je nutné zlikvidovat. Cenově jsou zpravidla balené směsi dražší než malty vyráběné ostatními způsoby. [5]

1.6.2. Suchá malta volně ložená v silech

Tento způsob výroby využíváme na větších stavbách. Z centrální výroby dovážíme suchou směs, kterou poté skladujeme v zásobních silech na stavbě. Malta se vyrábí přímo na staveništi smícháním suché směsi, umístěné v zásobním síle, s potřebnou dávkou vody. Silo se na stavbu dopravuje speciálním transportním vozidlem a podle potřeby je doplňováno suchou směsí z mobilních cisteren. Výhodou je solidní kvalita namíchané směsi (dávkováno automatem) a žádné zbytky malty ani žádné odpady (pracovníci si namíchají jen to, co spotřebují). Nevýhodami jsou potřeba připojení na dostatečně dimenzovaný zdroj elektrické energie, dostatečný zdroj tlakové vody a dostatečný prostor pro umístění sil. To bývá problémem nejen na menších stavbách ve městech, ale také na velkých stavbách bytových domů a administrativních budov, kdy je často velikost staveniště v rámci ekonomické optimalizace stavby na minimální úrovni a pro takto velká zařízení již nezbývá místo. Při používání různých typů malty na jedné stavbě ve stejném časovém období (různé pevnostní třídy, různé konzistence, akumalta apod.) je pak nutné umístit na staveniště příslušný počet sil s různými typy malty, čímž se prostorová a energetická náročnost tohoto systému zvětšuje. [5]

1.6.3. Dovoz čerstvé malty autodomíchávači

V současnosti hojně používaný způsob výroby a dodávky malty na stavenišť. Malta se vyrábí v centrální výrobě – maltárně a na stavbu se dopravuje autodomíchávači, kde se skládá do plastových manipulačních kontejnerů. V podstatě je tento systém hodně podobný výrobě a dodávce čerstvého betonu. Výhodou tohoto systému je zejména jednoduchost, snadné zpracování, možnost dodání různých typů malty a snadná manipulace s čerstvou směsí na stavbě. Nevýhodou může být nutnost každodenního objednávání malty a potřeba alespoň hrubého odhadu denní spotřeby. [5]

1.7. Druhy malt pro zdění dle spojovaného materiálu

1.7.1. Zdění z maloformátových cihel

1.7.1.1. Malty pro zdění vnitřních nosných stěn a pilířů

Při zdění z maloformátových cihel se používá vápenocementová malta o pevnosti v tlaku min. 2,5 MPa (tř. M 2,5). Objemová hmotnost zatvrdlé malty je cca 1 700 až 1 900 kg·m⁻³. Pro strojní zpracování jsou malty upraveny přísadami pro lepší průchodnost dopravními hadicemi. Tyto malty mají obvykle sypanou a objemovou hmotnost v zatvrdlém stavu menší o cca 100 kg·m⁻³. [6]

1.7.1.2. Malty pro vnější zdivo

V dnešní době se obvodové stěny nenavrhují z maloformátových cihel, neboť tyto cihly mají velký součinitel tepelné vodivosti λ a navržená stěna by nevyhovovala z hlediska normovým požadavkům na prostup tepla. [6]

1.7.1.3. Malty pro vnitřní nenosné tenké příčky

Pro příčky, které mají menší tloušťku než 120 mm, musí být použita malta o vyšší pevnosti v tlaku. Pevnost malty je závislá na délkových a výškových rozměrech příčky. Čím jsou tyto rozměry větší, tím vyšší musí být i pevnost malty, aby se zajistila statická tuhost příčky. Obvykle se používá malta pevnosti v tlaku 5 nebo 10 MPa (tř. M 5 nebo M 10). [6]

1.7.1.4. Malty pro zdění komínů, udíren a krbů

Konstrukce, které jsou namáhány nejen staticky, ale zvláště tepelně, musí být vyzdívány na zvláštní maltu, zejména konstrukce ve vnějším prostředí, kde by mohlo při použití normální malty docházet ke vzniku výkvětů, trhlin apod. Tato malta musí být třídy min. M 5, musí být méně nasákavá a upravená proti tvorbě výkvětů. Z těchto důvodů je nutné používat pouze průmyslově vyráběné malty určené k těmto účelům. [6]

1.7.2. Zdění stěn z cihelných bloků typu THERM

1.7.2.1. Malty pro nosné vnitřní stěny a pilíře

K tomuto účelu se opět používá klasická vápenocementová nebo cementová malta třídy min. M 2,5 pro vnitřní stěny a min. M 5 pro nosné pilíře. Pro nosné vnitřní stěny a pilíře se používají malty se stejnými parametry, jako je uvedeno v bodě 1.7.1.1. Překlady ve vnitřních stěnách se kladou do malty min. M 5, doporučuje se však vždy malta nejméně o třídu vyšší než třída malty, která byla použita pro zdivo. Důvodem je zabezpečení tuhosti spoje při přenosu zatížení z překladu do stěny tak, aby zde nedocházelo ke vzniku trhlin v nadpraží. [6]

1.7.2.2. Malty pro zdění vnějších stěn

Malty, které se používají pro vnější stěny, musí být třídy min. M 2,5. Objemová hmotnost zatvrdlé malty musí být menší než $1\,300\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Pokud chceme zvýšit tepelný odpor konstrukce, musíme použít tepelněizolační malty, které mají tyto parametry ještě zpřísněny, a navíc uvádějí součinitel tepelné vodivosti λ . Malty jsou vylehčeny buď fyzikálně (perlitem, keramzitem, agloporitem apod.), chemicky (provzdušňující přísady) nebo kombinací obou typů vylehčení. Překlady v obvodových stěnách se ukládají do tepelněizolační nebo lehčené malty, jejíž pevnost je alespoň 5 MPa. [6]

1.7.2.3. Malty pro zdění tenkých příček

Stejně jako v bodě 1.7.1.3. se používají malty vyšší pevnosti, aby se zajistila statická tuhost příčky. Nedoporučují se lehčené nebo tepelněizolační malty z

důvodu nižší hodnoty vzduchové neprůzvučnosti příčky při jejich použití. Používají se spíše těžší cementové malty. [6]

1.7.3. Zdění z broušených cihel

Cihly mají ložné plochy zbroušené do roviny, což umožňuje vyzdívání zdiva na speciální maltu pro tenké spáry. Cihly se vyrábějí stejným způsobem jako klasické cihly ovšem s tím rozdílem, že se ložné plochy cihel po vysušení, případně vypálení, zbrousí do roviny na speciálním zařízení se dvěma navzájem rovnoběžnými brusnými kotouči. Takto upravené cihly mají stejnou výšku s odchylkou maximálně 1 mm a dvě navzájem rovnoběžné a dokonale rovné ložné plochy. [6]

1.7.3.1. Příprava maltového lože na položení první vrstvy zdiva

První vrstva cihel se zakládá na dokonale vodorovnou a souvislou vrstvu malty, která nesmí být v žádném případě tenčí než 10 mm. Na založení první vrstvy se používá speciální vápenocementová malta. Aby vrstva malty pro první řadu cihel byla skutečně vodorovná, používá se při jejím nanášení nivelační přístroj s latí a vyrovnávací souprava, která se skládá ze dvou přípravků s měnitelným nastavením. Pomocí těchto přípravků se nastavuje tloušťka a šířka nanášené maltové vrstvy na jednotlivých místech základů. Získáme tak první úsek dokonale vodorovného, souvislého maltového lože na položení první vrstvy cihel. [6]

1.7.3.2. Malty pro další vrstvy zdiva z broušených cihel

Od druhé vrstvy se broušené cihly zdí na maltu pro tenké spáry, která se dodává speciálně pro tento účel spolu s cihlami. Používají se dva typy malt pro tenké spáry. První se nanáší pouze na žebra cihelných tvarovek, druhý typ vytváří celoplošnou ložnou tepelněizolační vrstvu. Malty se připraví podle návodu na obalu. Na míchání se používá vhodná vrtačka s míchadlem, případně speciální ponorné mísidlo. V případě vysoké teploty a suchého vzduchu při zdění je potřeba zabránit rychlému odsátí vody z malty navlhčením vrstvy cihel těsně před nanášením malty. [6]

Nanášení malty, která pokrývá pouze žebra cihel, je možné provádět dvěma způsoby:

- **namáčením cihel do malty:**

Cihly se uchopí za úchopové otvory anebo pomocí speciálních držáků na horní ložné ploše. Spodní ložná plocha se ponoří rovnoměrně do připravené malty pro tenké spáry, maximálně do hloubky 5 mm. Namočená cihla se ihned usadí na své místo ve zdivu. Nanesené množství malty tímto způsobem plně postačuje na pevné spojení jednotlivých cihel do požadované vazby.

- **nanášením malty pomocí nanášecího válce:**

Nanášecí válec je jednoduché zařízení pro urychlení a zjednodušení zdění z broušených cihel. Malta se dávkuje do zásobníku nanášecího válce, odkud se dostává při rovnoměrném pohybu válce na ložnou plochu již položených cihel. Do takto nanesené tenké vrstvy malty se pokládá nová vrstva cihel.

1.7.4. Klimatické podmínky pro zdění

Zdění by mělo být prováděno při teplotě +5 až +30 °C. Zdicí prvky se nenamáčejí, pokud to není vysloveně uvedeno v technologickém postupu. Nesmí být namrzlé, zaprášené, mastné nebo jinak znečištěné. Při zdění v zimě musí malty obsahovat mrazuvzdorné přísady a je nutno používat malty s pevností o stupeň vyšší. Použití mrazuvzdorných přísad je nutno konzultovat s výrobcí suchých maltových směsí nebo dodávky již takto upravených malt s nimi dohodnout. Po dokončení prací je třeba chránit zdivo před promrznutím, např. zakrytím polystyrenovými deskami, izolačními rohožemi apod. Zdění za teplot nižších než +5 °C se nedoporučuje, zdění za teplot nižších než -5 °C je zakázáno. [6]

2. Požadavky na malty dle normy ČSN EN 998

Specifikace malt pro zdivo

Tato norma se dělí na 2 části:

- Část 1: Malty pro vnitřní a vnější omítky
- Část 2: Malty pro zdění

2.1. ČSN EN 998 – Část 1: Malty pro vnitřní a vnější omítky definuje:

2.1.1. Malta pro vnitřní a vnější omítky:

Směs jednoho nebo více anorganických pojiv, kameniv, vody a někdy příměsí a přísad používaná pro vnitřní a vnější omítky.

2.1.2. Průmyslově vyráběná malta pro vnitřní/vnější omítky:

Malta pro vnitřní/vnější omítky, která je dávkována a umísena průmyslově. Může se jednat o „maltu suchou“ předem umísenou, k níž je třeba jen přidat vodu, nebo o maltu vlhkou dodávanou připravenou k použití. [7]

2.2. ČSN EN 998 – Část 2: Malty pro zdění definuje:

2.2.1. Malta pro zdění:

Směs jednoho nebo více anorganických pojiv, kameniv, vody, a někdy příměsí a/nebo přísad používaná pro ukládání, spojování a spárování zdiva.

2.2.2. Čerstvá malta pro zdění:

Umíchaná malta připravená k použití.

2.2.3. Obyčejná malta pro zdění (G):

Malta pro zdění, pro níž nejsou předepsány speciální vlastnosti.

2.2.4. Malta pro zdění pro tenké spáry (T)

Návrhová malta pro zdění s největší zrnitostí kameniva rovnou nebo menší než 2 mm.

2.2.5. Lehká malta pro zdění (L)

Návrhová malta pro zdění, jejíž objemová hmotnost v suchém stavu je menší než 1300 kg/m³.

2.2.6. Průmyslově vyráběná malta pro zdění:

Malta pro zdění, která je dávkována a umístěna průmyslově. Může se jednat o „maltu suchou“ předem umísenou, k níž je třeba přidat jen vodu, nebo o „maltu vlhkou“ dodávanou připravenou k použití.

2.2.7. Staveništní malta pro zdění:

Malta pro zdění, která je z jednotlivých složek dávkována a zamíchána na staveništi. [3]

2.3. Požadavky na malty pro zdění

Vlastnosti, které jsou požadovány pro maltu, se vztahují k jejímu používání. Jsou rozděleny do dvou skupin: vlastnosti čerstvých nezatvrdlých malt a vlastnosti zatvrdlých malt. Aby byl splněn záměr zpracovat co nejpraktičtější jakostní normu výrobku, vztahuje se norma jen na vlastnosti výrobku, a ne na způsoby jeho výroby.

Požadavky a vlastnosti musí být definovány podle zkušebních metod a jiných postupů uvedených v ČSN EN 998-2. [3]

Tabulka 2: Popis normových požadavků dle ČSN EN 998-2. [3]

Třídy požadovaných vlastností	označení jednotka	požadavek	zkušební norma
Doba zpracovatelnosti	- [min]	nesmí být kratší než deklarovaná hodnota	ČSN EN 1015-9
Obsah chloridů	- [%]	obsah chloridů nesmí být větší než 0,1 % z hmotnosti suché malty	ČSN EN 1015-17
Obsah vzduchu	L [%]	obsah vzduchu musí být v deklarovaném rozsahu	ČSN EN 1015-7
Pevnost v tlaku	M [MPa]	viz Tabulka č.1	ČSN EN 1015-11
Soudržnost	- [MPa]	deklarována jako počáteční hodnota pevnosti ve smyku. 0,15 N·mm ² pro obyčejné a lehké malty 0,3 N·mm ² pro malty pro tenké spáry	ČSN EN 1052-3 ČSN EN 771
Objemová hmotnost (suché ztvrdlé malty)	ρ [kg·m ³]	musí spadat do deklarovaného rozsahu pro lehké malty $\leq 1300 \text{ kg/m}^3$	ČSN EN 1015-10
tepelná vodivost	- [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	musí splňovat deklarované nebo změřené hodnoty	ČSN EN 1745
reakce na oheň	třídy A1-F	obsah organických látek $\leq 1,0$ %, malty spadají do třídy A1 bez zkoušení obsah organických látek $> 1,0$ % malty musí být podrobeny klasifikaci dle	ČSN EN 13501-1

3. Hlavní složky malt

3.1. Anorganické pojiva

Pojiva jsou látky nebo směsi látek, které mají schopnost postupného zpevňování a tím spojují zrnité systémy v pevný kompaktní celek. Předpokladem správné funkce pojiv je jejich tekutost na začátku působení, schopnost smáčet povrch spojovaného materiálu a tím vytvářet adhezní vazby, samovolné zpevňování pojiva po vhodné době (odpařením rozpouštědla, chemickou reakcí apod.) a zachování pevných adhezních spojů i po ztuhnutí pojiva.

Pevnost anorganických pojiv po zatvrdnutí je daná skutečností, že jde o polykrystalické nebo gelové systémy prostoupené póry. Výsledná pevnost bude záviset na velikosti, tvaru a rozložení částic a pórů a na charakteru rozhraní mezi elementárními částicemi pojiva.

Z praktického hlediska rozlišujeme dvě hlavní skupiny anorganických pojiv: technická pojiva, např. vodní sklo, a pojiva stavební, které označujeme jako maltoviny. Maltoviny dělíme podle stability v prostředí na hydraulické a vzdušné. [8]

3.1.1. Vlastnosti maltovin

Změnou typu pojiva (portlandský cement, vápenný hydrát, hydraulické vápno) a typem písku (přírodní nebo umělý), je možné nakládat s vlastnostmi malt vlivem jednotlivých složek. Portlandský cement ulehčuje dosáhnout vyšší třídy pevnosti, a to díky pomalejšímu tvrdnutí vápna v porovnání s cementem. Energie potřebná na zlomení je o mnoho vyšší u malt s umělým pískem v porovnání s přírodním. To vyplývá z větší drsnosti částic umělého písku, které poskytují lepší adhezi mezi pískem a pojivem. [9]

Na hydrataci přírodních hydraulických malt má velký vliv poměr přidané vody a pojiva, což vytváří prostor pro optimalizaci jejich vlastností podle žádané aplikace. [10] Hydratační vlastnosti se dají ovlivnit i přidáním různých typů sádrovce.

3.1.2. Vzdušné vápno

Tuhnutí vzdušných maltovin nastává vlivem chemických procesů včetně hydratace. Po ztuhnutí jsou však produkty stále jen na vzduchu, ve vodě se částečně rozpouštějí, např. vápno, vápenosíranová pojiva, hořečnaté maltoviny, jíl,

hlína. [11] Mají jen malý obsah hydraulických složek, jejich hydraulický modul je proto vysoký.

Vápno je technický název pro CaO o různém stupni čistoty. Jako maltovina se vyrábí rozkladem přírodních vápenců při takové teplotě, aby produkt byl schopný dostatečně rychlé hydratace na Ca(OH)_2 , který je potom hlavní aktivní složkou tohoto pojiva.

Pro stavební účely rozlišujeme dva hlavní druhy vápna:

- **Vzdušné vápno:** má vysoký obsah CaO, případně malý obsah MgO. Vápno s obsahem více než 7 % MgO se označuje jako vápno dolomitické.
- **Hydraulické vápno:** vzniká z méně čistých vápenců, obsahuje více než 10 % hydraulických složek, tedy SiO_2 , Al_2O_3 a Fe_2O_3 (které jsou buď přítomné v surovině nebo byly dodatečně přidány ke vzdušnému vápnu – tzv. směsné hydraulické vápno struskové, pucolánové).

Surovinou pro výrobu vápna je přírodní vápenec. Jeho hlavní mineralogickou složkou je kalcit – trigonální CaCO_3 , v případě dolomitického i $\text{CaMg(CO}_3)_2$.

Podle obsahu barvicích oxidů vzniká vápno bílé nebo zbarvené (nahnědlé až šedé). Požadavky na čistotu a vlastnosti vápenců jsou blíže specifikované v normách. Doprovodnými oxidy bývají nejčastěji SiO_2 , Al_2O_3 a Fe_2O_3 , přičemž poměr CaO k těmto složkám se nazývá hydraulický modul. Hranicí mezi vzdušným a slabě hydraulickým vápnem je modul asi 9. Silně hydraulické vápno může mít modul až 1,7; ještě nižší hodnota modulu odpovídá tzv. románskému vápnu (románskému cementu). [8]

Tabulka 3: Druhy vzdušného vápna [12]

Označení	Značení	Obsah CaO+MgO	Obsah MgO	Obsah SO_3
bílé vápno 90	CL90	≥ 90	≤ 5	≤ 2
bílé vápno 80	CL80	≥ 80	≤ 5	≤ 2
bílé vápno 70	CL70	> 70	< 5	≤ 2
dolomitické vápno 85	DL85	≥ 85	≥ 30	≤ 2
dolomitické vápno 80	DL80	≥ 80	≥ 5	≤ 2

Románský cement se složením blíží portlandskému cementu, avšak liší se od něho nižším výpalem pod teplotou slinování. Původně se malta pro římské stavby připravovala z hašeného vápna, písku a vulkanických příměsí, které se při tuhnutí tvořili s vápencem hydratované vápenaté křemičitany podobné produktům tuhnutí portlandského cementu.

Dolomitické vápno má obvykle menší vydatnost a pomaleji se hasí. Malty z něho připravené tvrdnou pomaleji, ale dosahují vyšší pevnosti. Rozemletím čistého dolomitického vápna se získá tzv. vídeňské vápno, používané k výrobě leštících past. [8]

3.1.3. Hydraulické vápno

Hydraulické maltoviny se po počátečním zatuhnutí na vzduchu ve vodě nerozpouštějí, naopak, tuhnou a tvrdnou a při tom vznikají produkty nerozpustné ve vodě. Jejich vlastnosti se časem ještě zlepšují. Patří mezi ně např. portlandský cement, románský cement, hlinitanové cementy, hydraulické vápno. [8]

K tradiční výrobě hydraulického vápna se používají jílovité vápence, obsahující kromě CaO také větší obsah hydraulických oxidů. Výpal se vykonává při teplotě 1250 °C s následným hašením na prach.

V případě silně hydraulických vápen s $M_h < 3$ se rozhašení nevykonává, protože je v nich obsah volného CaO relativně malý a tyto vápna se svými vlastnostmi podobají cementům. Nejznámější je románský cement.

Pojivo, ve kterém vzniká dicalcium silikát přímo pálením vhodných surovin (např. méně čistých vápenců) se označuje jako přirozené hydraulické vápno a jeho druhy se označují zkratkou NHL (natural hydraulic lime) doplněný o číslici vyjadřující třídu tlakové pevnosti. Společným mletím kusového páleného vápna s hydraulickými příměsemi se vyrábí hydraulické vápno s příměsí, které má označení NHL – P. [13,14]

Tabulka 4: Třídy a vlastnosti hydraulických vápen [12]

Vlastnost	Pevnostní třída		
	NHL – 2 NHL – P 2	NHL – 3,5 NHL – P 3,5	NHL – 5 NHL – P 5
Pevnost v tlaku			
po 7 dnech [MPa]	-	≥ 1,5	≥ 2
po 28 dnech [MPa]	2 až 7	3,5 až 10	5 až 15
počátek tuhnutí	≥ 1 h		
doba tuhnutí	≤ 15 h		
Sypná hmotnost [kg · m⁻³]	400 až 800	500 až 900	600 až 1000

3.1.4. Cement

Cement je hydraulické pojivo ve formě jemně mleté anorganické látky. Po smíchání s vodou vytváří kaši, která tuhne a tvrdne v důsledku hydratačních reakcí a procesů. Po zatvrdnutí zachovává svoji pevnost a stálost také ve vodě a po předepsané době musí mít požadovanou pevnost a dlouhodobou objemovou stálost. Cementy pro obecné použití se podle evropské normy ČSN EN 197-1 označují značkou CEM s dalšími číselnými a písmennými symboly, značící jejich druh a množství hlavních složek. [14]

- CEM I – portlandský cement
- CEM II – portlandský směsný cement
- CEM III – vysokopecní cement
- CEM IV – pucolánový cement
- CEM V – směsný cement

Dále se cementy dělí podle jejich vaznosti (pevnosti). V současnosti se u nás vyrábějí cementy tří pevnostních tříd – 32,5, 42,5 a 52,5. Číslo znamená pevnost příslušného cementu v tlaku po 28 dnech hydratace, zkoušenou podle ČSN EN 196-1. Má-li cement vysoké počáteční pevnosti, připojuje se za označení třídy ještě písmeno R (tzv. rychlovazný cement), cementy s normální rychlostí tuhnutí se označují písmenem N. [15]

V pojmu portlandský cement je zahrnuta řada druhů s modifikovaným složením. Společnou charakteristikou je:

- a) **výrobní postup**, záležející ve výpalu směsi surovin do slinutí, čímž vzniká tzv. slínek ze kterého se jemným mletím (měrný povrch $> 2250 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$) získá portlandský cement.
- b) **Mineralogické složení**, jež vzniklo vysokoteplotními reakcemi v surovinové směsi. Produkt je heterogenní hmota obsahující zejména křemičitany a v menší míře hlinitany a železitany vápníku a dále skelnou fází.

Chemické složení portlandských slínek vyráběných průmyslově se pohybuje obvykle v těchto rozmezích: [8]

59–67 % CaO	(průměr asi 65 %)
16–26 % SiO ₂	(průměr asi 21 %)
4–8 % Al ₂ O ₃	(průměr asi 6 %)
2–5 % Fe ₂ O ₃	(průměr asi 6 %)
0,3–5 % MgO	(průměr asi 3 %)
0,4–0,9 % K ₂ O	
0,2–0,6 % Na ₂ O	

3.1.4.1. Cement pro zdění:

Současné ekologické trendy ve výrobě stavebních hmot vedou ke snaze o využívání odpadů jako druhotných surovin pro výrobu stavebních hmot. Důležitou oblastí průmyslu stavebních hmot je cementářská výroba.

Při výrobě cementů se doposud nejvíce používala vysokopecní granulovaná struska a v omezené míře popílky. Pohlédneme-li na fakt, že v České Republice dochází k výraznému omezení výroby železa, a tím se snižuje i produkce vysokopecní granulované strusky využívané pro cementy. Z tohoto důvodu je třeba hledat nové zdroje surovin k výrobě směsných cementů.

Roku 1996 byl normativně zaveden nový druh cementu, a to cement pro zdění (ČSN EN 413-1 Cement pro zdění – Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody). Cement pro zdění je novým druhem pojiva s nižšími pevnostmi než klasické cementy vyráběné dle ČSN EN 197-1. Na rozdíl od směsných portlandských cementů lze k výrobě cementu pro zdění kromě vysokopecní granulované strusky využívat i jiných druhotných surovin – např. odprašků z výroby kameniva. Výhodou je, že do těchto cementů lze zakomponovat až 75 % druhotné suroviny. [16]

➤ Definice

Jedná se o průmyslově vyráběné jemně mleté hydraulické pojivo, u něhož je dosahováno vývoje pevností hlavně v přítomnosti portlandského slínku. Po smíchání jen s pískem a vodou, bez přídavku dalších látek, poskytuje zpracovatelnou maltu vhodnou k používání pro vnitřní a vnější omítky a pro zdění.

Cement pro zdění musí obsahovat portlandský slínek, anorganické látky a v případě potřeby organické látky.

Značí se písmeny MC a rozeznáváme tři pevnostní třídy: 5, 12,5 a 22,5. Písmenem X se označují cementy po zdění, do nichž nebyla přidána provzdušňující přísada. [17]

Tabulka 5: Třídy a složení cementů pro zdění [17]

Třída cementu	Pevnostní třída	Složení [%]		Provzdušňovací látky
		Portlandský slínek	Organická látka	
MC 5	5	≥ 25	≤ 1	Požadují se
MC 12,5	12,5	≥ 40	≤ 1	Požadují se
MC 12,5x	12,5	≥ 40	≤ 1	Nepovolují se
MC 22,5x	12,5	≥ 40	≤ 1	Nepovolují se

Tabulka 6: Požadavky na fyzikálně mechanické charakteristiky cementů pro zdění [17]

Počátek tuhnutí [min]			60		
Doba tuhnutí [hod]			<15		
Objemová stálost			<10 mm		
Třída cementu			MC 5	MC 12,5 – 12,5x	MC 22,5x
Pevnost v tlaku [MPa]	7 dní		-	≥ 7	≥ 10
	28 dní	min	≥ 5	$\geq 12,5$	$\geq 22,5$
		max	≤ 15	$\leq 32,5$	$\leq 42,5$

3.2. Plniva

Plniva jsou látky chemicky neaktivní neboli inertní, původu anorganického, ale i organického, které ve struktuře malt a betonů plní funkci nosného skeletu, pevně spojeného pomocí pojiv, které po rozmísení s vodou zrna plniv obalí a následnými hydratačními procesy spojí v pevnou hmotu. Pojiva sama o sobě pevnost mají, ale jsou několikanásobně dražší nežli plniva, a proto je používáme i z ekonomického hlediska. Dalším problémem u malt bez použití plniv by byl příliš velký vodní součinitel, který by při vysychání znamenal vyšší riziko vzniku smršťovacích trhlin. [16]

Plniva do malt můžeme rozdělit do tří skupin, plniva přírodní, umělá a recyklovaná.

3.2.1. Přírodní plniva

3.2.1.1. Písek

V současnosti se v maltách a omítkách používají v největší míře přírodní plniva. Nejčastěji kamenivo křemenné, ať již těžené z vody, kopané či drcené. Pro malty se používá frakce kameniva 0–4 mm, které se též označuje jako písek.

3.2.2. Umělé plniva

3.2.2.1. Keramzit

Keramzit je umělé kamenivo, které se vyrábí ze snadno tavitelných hlín vypalováním při 1100 až 1200 °C v rotačních pecích. Zrna keramzitu mají kulový tvar podobný valounům kačírku. Keramzit má zvláštní vnitřní pórovitou strukturu, výrazně se lišící od povrchové vrstvy. Barva keramzitu bývá obvykle hnědá nebo hnědočervená. Keramzit je nehořlavý, mrazuvzdorný a voděodolný. Českým největším výrobcem Keramzitu je společnost LIAS Vintířov, který jej prodává pod obchodním názvem Liapor. Objemová hmotnost keramzitu je 500 až 1900 kg·m⁻³ podle druhu. [18, 19]

3.2.2.2. Expandovaný perlit

Jedná se o vulkanické sklo se zatuhlou vodou v několika modifikacích. Dvoustupňovým výpalem dojde k uvolnění vody a následné expanzi, objem se zvětší 7–14krát. Objemová hmotnost se pohybuje v rozmezí 70–350 kg·m⁻³. Perlit má velice nízký součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,06 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, a proto hlavní využití perlitu je pro, tepelné izolace, sanační a tepelně izolační omítky, lehké malty. [19]

3.2.2.3. Agloporit

Rozumíme jím, umělé pórovité kamenivo, které se vyrábí sbalkováním elektrárenského popílku se směsí mletého uhlí a vody na sbalkovacím talíři nebo bubnu. Tyto sbalky se poté samovýpalem vypálí na aglomeračním roštu. Objemová hmotnost agloporitu je 400–1350 kg·m⁻³ záleží na frakci.

3.2.3. Recyklovaná plniva

3.2.3.1. Struska

Struska vzniká jako odpadní produkt v metalurgii železa. Žhavotekutá struska je od vysokých pecí dopravena speciálními železničními vozy na odval, kde je za současného ochlazování vodou vylita. Rychlým ochlazením vodou vzniká granulovaná vysokopecní struska, tj. latentně hydraulické pojivo s vysokým obsahem amorfního SiO₂, které se dále využívá ve stavebnictví jako příměs do cementů nebo betonů. Zbytky již částečně zatuhlé strusky, které zbyly v kolibách se po pomalém ochlazení následně drtí a třídí na struskové kamenivo. [15]

3.2.3.2. Cihelná drť

Cihelná drť je nejvíce využívána jako zásypový materiál. Pro použití jako plniva do stavebních směsí a pro výrobu konstrukčních prvků. Musíme zajistit, aby neobsahovala příliš mnoho nežádoucích směsí. Nesmí narušovat procesy nabývání pevnosti pojiva, tj. nejčastěji hydrataci cementu a bylo tak umožněno vzniku pevné hmoty jistých žádoucích fyzikálně-mechanických vlastností.

Při využití jako plniva do malt je hlavní výhodou vyšší tepelný odpor než u malt s přírodním kamenivem. Dalšími výhodami jsou nízká cena suroviny a snížení ekologického dopadu. [20]

3.3. Záměsová voda

Voda na výrobu malt musí splňovat stejné požadavky jako voda na výrobu betonu. Musí být nezávadná, tj. nesmí snižovat pevnost a trvanlivost malt nebo způsobovat skvrny a výkvěty. Bez zkoušek lze používat vodu pitnou, vody jiného původu je potřeba podrobit zkouškám. [14]

3.4. Přísady do malt

Přísadami nazýváme látky, které zlepšují či upravují vlastnosti malt a betonů. Přidávají se jen ve velmi malém množství, v řádu desetin procent až procent. Použití těchto modifikujících přísad do malt s hydraulickými nebo vzdušnými pojivy je známo už z dob, před naším letopočtem. Vlastnosti byly upravovány nejčastěji rostlinnými a živočišnými tuky a klíhy, krví a mlékem. Požadovalo se především zvýšení pevností, plasticity malty, úprava procesu tuhnutí a vodoodpudivost. Některé z přísad upravovali více než jednu z těchto vlastností. [21]

Přísady do betonů a malt mohou mít anorganickou nebo organickou povahu a mohou být práškové nebo tekuté. Tekuté přísady se používají převážně do plastických betonů a malt a práškové přísady se používají do suchých směsí nebo do stříkaných betonů a malt. U přísad do betonu a malt se vyžaduje především účinnost a neškodnost.

Přísady do betonů a malt dělíme:

- Plastifikátory
- Ztekucovače
- Zpomalovače tuhnutí
- Urychlovače tuhnutí
- Provzdušňovací přísady
- Odpěňovací přísady
- Stabilizační přísady
- Pěnotvorné přísady

3.4.1. Plastifikátory

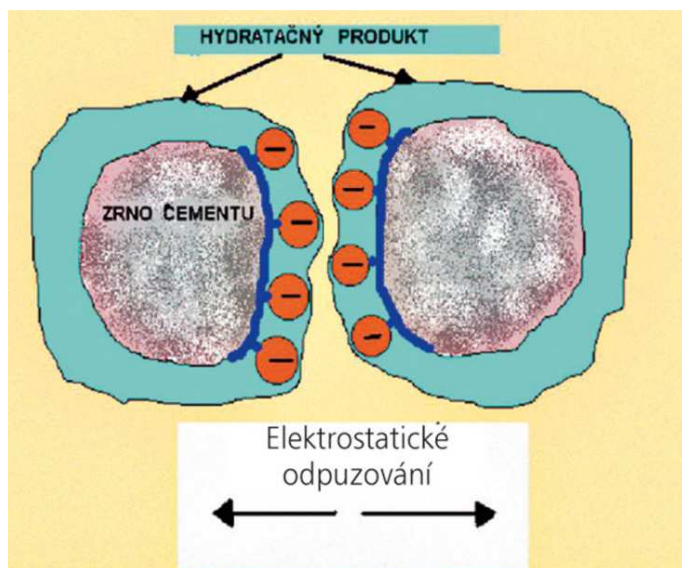
Jedná se o nejpoužívanější přísady do malt a betonů. Jejich funkce spočívá ve snížení a neutralizaci povrchového napětí, čímž dochází ke změně nábojů pevných částic ve směsi. Jednotlivá zrna cementu se působením plastifikátorů elektrostaticky odpuzují a tím zůstávají dispergované. Betonová nebo maltová směs s dispergovanými cementovými zrny vyžaduje menší množství záměsové vody a dochází ke snížení viskozity betonové směsi.

Když zachováme stejnou dávku záměsové vody, dojde při použití plastifikátorů ke zlepšení zpracovatelnosti směsi a tím dosáhneme větší hutnosti, což vede k vyšším pevnostem ve ztvrdlém stavu. Při zachování stejné zpracovatelnosti dosáhneme použitím plastifikátorů snížení množství záměsové vody a tím dosáhneme vyšších pevností zatvrdlého betonu či malty.

Plastifikátory tedy používáme ve snaze o zlepšení vlastností čerstvého i ztvrdlého betonu. Aby se jednalo o plastifikátor, musí být dosaženo snížení záměsové vody o více než 5 % při stejné konzistenci směsi a pevnost v tlaku má vzrůst za 28 dní na hodnotu 110 % oproti referenčnímu betonu podle ČSN EN 480-1.

Plastifikační přísady musí rovněž splňovat další požadavky. Nejzásadnější je odolnost vůči alkalickému prostředí, neboť beton i malta jsou silně alkalická prostředí s nadbytkem vápenných iontů. Dále je velmi podstatný vliv na ocelovou výztuž. Plastifikátor nesmí způsobovat korozi výztuže jak v čerstvém, tak i ve ztvrdlém betonu. Rovněž nesmí obsahovat látky, které by blokovaly hydrataci. Negativní vlastností některých plastifikátorů je, že způsobují napěnění, čímž snižují výsledné pevnosti a mrazuvzdornost betonů a malt.

Nejpoužívanějšími plastifikátory jsou ty na bázi lignosulfonanů. Ty se vyrábějí z odpadu při výrobě papíru a jsou tedy ekologickou likvidací odpadu v papírenského průmyslu. Toto se samozřejmě projeví na ceně těchto přísad, které jsou nejlevnějšími látkami pro modifikaci betonových směsí na trhu. Jejich účinek se projeví již při dávce 0,2 % z hmotnosti cementu a dokáží redukovat množství záměsové vody přibližně o 10 %. [22]



Obrázek 1: Princip působení plastifikační přísady [23]

3.4.2. Ztekucovače

Jedná se o plastifikátory se silným ztekucujícím účinkem. Dělí se podle velikosti ztekucujícího se účinku na superplastifikátory a hyperplastifikátory. Použitím superplastifikátorů musí být dosaženo snížení dávky vody o více jak 12 % při stejné konzistenci směsi a dosahujeme zvýšení pevnosti betonu o více než 15 %. Superplastifikátory jsou vyráběny buď na bázi kondenzačních produktů sulfonovaného naftalenu s formaldehydem nebo na bázi sulfonované melaminformaldehydové pryskyřice. Působení superplastifikátoru spočívá v obalení zrn cementu dlouhými molekulami účinné složky přísady. Ztekucovače můžeme využít dvěma způsoby. Bud s jejich pomocí vyrobíme beton s velmi dobrou zpracovatelností, nebo velmi velkou pevností. Čerstvému betonu se ztekucovačem nesmí 30 minut do jeho výroby klesnout zpracovatelnost na původní hodnotu.

Jako hyperplastifikátory označujeme ztekucovače na bázi modifikovaných polykarboxylátů. Dokáží redukovat množství záměsové vody až o 35 %, proto bývají používány nejčastěji do samozhutnitelných betonů. [22]

3.4.3. Zpomalovače tuhnutí

Zpomalovače tuhnutí neboli retardéry jsou určeny pro zpoždění tuhnutí betonu či malty a tím prodloužit dobu zpracovatelnosti směsi. Nejčastěji se jedná o látky na bázi fosfátů, lignosulfonátů, derivátů cukrů nebo oxikarbonových kyselin.

Tyto látky se účastní chemicko-mineralogických reakcí během hydratace cementu. [24]

3.4.4. Urychlovače tuhnutí a tvrdnutí

Urychlovači označujeme látky, které po přidání do směsi s cementem a vodou urychlují hydratační reakce. Urychlovače se dělí na přísady zkracující dobu tuhnutí plastické směsi a na přísady, které zvyšují počáteční pevnosti zatvrdlé směsi. Některé urychlovače ovlivňují tuhnutí i tvrdnutí. Vicatovým přístrojem s ocelovou jehlou zjišťujeme účinnost urychlovačů ve fázi tuhnutí směsi. Účinnost zpomalovačů tvrdnutí se zjišťuje zkoušením počátečních pevností zatvrdlé směsi na betonových trámciích. Dále můžeme zpomalovací účinek zkoušet nepřímo měřením tepla, které se uvolní při hydrataci, neboť hydratace je chemickou exotermickou reakcí.

Urychlovače se podle formy dělí na, kapalné (vzniklé rozpuštěním solí), práškové tvořené rozpustnými solemi, práškové tvoření nerozpustnými látkami a vodní disperze nerozpustných solí a kyselin.

Nejčastěji používané látky jako urychlovače jsou hydroxidy, halogenidy, dusitany a dusičnany, uhličitany, sírany a thiosírany hlinitany, silikáty a další. [24]

3.4.5. Provzdušňovací přísady

Jedná se o chemické látky, které vytváří velké množství malých vzduchových bublin v cementovém tmelu. Tyto vzduchové bubliny musí zůstat v cementovém tmelu během přepravy a hutnění směsi. Množství vzduchových pórů se pohybuje v rozmezí 2–6 % a jejich velikost musí mít průměr 60–200 μm . Póry by měli být rozmístěny rovnoměrně. Při použití provzdušňující přísady dojde k vytvoření sítě nepropojených vzduchových bublin, které se nezaplní vodou ani po uložení ve vodě. Vzduchové bubliny snižují krystalizační tlak ledu vzniklého v kapilárách. Kromě pozitivního vlivu na mrazuvzdornost malt a betonů mají provzdušňující přísady také plastifikační účinky. Jestliže zvýšíme obsah vzduchových dutin o 1 %, lze při stejné konzistenci snížit množství záměsové vody o přibližně 5 litrů na metr krychlový směsi. Snížením množství vody se vyruší snížení pevnosti v důsledku zvýšení objemu vzduchových dutin ve ztvrdlém betonu či maltě.

K výrobě provzdušňujících přísad se využívá povrchově aktivních látek. Jedná se o sloučeniny, které snižují povrchovou energii nebo napětí na rozhraní vzduch-voda. Tyto látky rozdělujeme do tří skupin podle jejich náboje na polární části molekul. Když je polární část nabitá záporně, jedná se o aniontové látky, pokud má polární část kladný náboj, jsou to kationtové látky a při neutrálním náboji se jedná o látky neiontové. Dříve byla nejčastější provzdušňovací přísadou přírodní pryskyřice Vinsol, která vzniká při výrobě dřeva. V dnešní době je portfolio těchto látek mnohem větší a používají se dále: [25]

- soli dřevných pryskyřic (aniontové)
- syntetické detergenty (neiontové, aniontové)
- soli sulfonovaných ligninů (aniontové)
- soli sulfonovaných ligninů (aniontové)
- soli proteinových látek (aniontové, kationtové)
- mastné a pryskyřičné kyseliny a jejich soli (aniontové)
- organické soli sulfonovaných uhlovodíků (aniontové)

3.4.6. Odpěňovací přísady

Odpěňovací přísady nejsou příliš využívány. V malém množství se tyto přísady využívají pro pohledový beton, kde je požadován hladký povrch bez pórů a bublin. Odpěňovací přísada vytěsňuje vzduch ze směsi během míchání, dopravy a hutnění. Tím zvyšuje mrazuvzdornost a odolnost betonu proti ušpinění a tvorbě vápenných výkvětů. Odpěňovací přísady snižují viskozitu betonové směsi a brání rozměšování směsi. Nejčastěji jsou vyrobeny z látek na bázi esterů minerálních kyselin (např. tributylfosfátu), polyglykolů a mastných kyselin. [25]

3.4.7. Hydrofobizační přísady

Hydrofobizační přísady jsou látky, které způsobují vnitřní hydrofobizaci v hmotě betonu. Nejde tedy jen o úpravu povrchu betonu, ale tyto přísady působí v celé hmotě betonu. Jejich užití přispívá ke snížení nasákavosti betonu.

Působení hydrofobizačních přísad je odlišné od běžně prováděných povrchových impregnací hydrofobními nátěry, protože jsou součástí celé struktury betonu. U betonu tak nedochází k vymizení vodoodpudivého efektu ani při

kamenické úpravě povrchu betonu, při řezání výrobků a ani při opotřebení povrchu betonových výrobků. [25]

Dělí se na tři typy:

- přísady reagující s hydratačními produkty: kyselina stearová, mastné kyseliny, butylstearát, kyselina oktanová
- koalescenční: hydrofobní emulze, polymerní vosky, silany, siloxany
- práškové nerozpustné látky: stearáty

3.4.8. Stabilizační přísady

Slouží hlavně při výrobě samozhutnitelných betonů. Při výrobě bez těchto přísad je zapotřebí velkého množství jemných částic, jinak dochází k sedimentaci větších zrn a tím k rozměšování betonu. Dále velké dávky jemných podílů snižují odolnost betonu a mrazuvzdornost. Jejich hlavní funkce je tedy bránit rozměšování SCC betonů. Stabilizační přísady jsou nejčastěji vyrobeny z derivátu celulózy (polysacharidů). Dále se stabilizační přísady používají pro výrobu čerpaných betonů k zamezení ucpávání potrubí. Stabilizátory nacházejí také uplatnění při výrobě stříkaných betonů a u podvodní betonáže. U stabilizačních přísad může při předávkování nastat snížení zpracovatelnosti betonu a zvýšení obsahu vzduchu v čerstvé betonové směsi. [25]

3.4.9. Pěnotvorné přísady

Pěnotvorné přísady jsou určeny pro výrobu lehkých nekonstrukčních betonů a malt. Nejsou tedy prvořadě pro použití pro betony z lehkých kameniv, mezerovité betony a provzdušněné betony s obsahem vzduchu menším než 6 %. Používají se pro výrobu tzv. pěnobetonů. Ty se rozdělují na pórobetony s mikropóry a pěnobetony s makropóry. Výroba spočívá ve vmíchání pěny do cementového tmelu. Přidáním kameniva do této směsi poté lze regulovat objemovou hmotnost a související vlastnosti (pevnosti). Pěna se vyrábí z látek na bázi zmýdelnitelných pryskyřic, olejů, tuků nebo hydrolyzátů bílkovin. K vytvoření pěny dochází v mobilních nebo stabilních pěnogenerátorech. Při výrobě pěnobetonů dochází k úbytkům pěny. Je tedy nutné s úbytkem pěny počítat. [25]

3.5. Příměsi do malt

Jako příměsi do malt se používají látky nazývané pucolány. Jedná se o amorfní nebo křemičitohlinité látky, které samy o sobě nemají, nebo jen velmi malé, pojivové schopnosti. Ve velmi jemné formě a v přítomnosti vody reagují při běžných podmínkách s hydroxidem vápenatým a vytváří sloučeniny s výraznými pojivovými vlastnostmi. [26]

3.5.1. Rozdělení pucolánů

- přírodní
vulkanického původu – tufy
sedimenty – tufity, křemelina
- technogenní
Mohou být záměrně vyráběné v primárních surovin (metakaolin), nebo se jedná o odpady a vedlejší produkty z různých průmyslových odvětví s vysokým obsahem reaktivní formy SiO_2 a Al_2O_3 (popílek, mikrosilika, struska, cihelná drť)

3.5.2. Vybrané technogenní příměsi

3.5.2.1. Metakaolin

Vyrábí se výpalem kaolinitických jílu a dalších surovin při teplotách 600 až 900 °C a následným jemným namletím. Měrný povrch jemně namletého metakaolinu se pohybuje v rozmezí 2000–20000 $\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-1}$. S výhodou se používá jako příměs do betonů (i vysokohodnotných) a malt, kde kromě pucolánové reakce příznivě ovlivňuje reologii betonu, snižuje nasákavost, zlepšuje mechanické vlastnosti. Jeho použití je příznivé rovněž jako příměs ve vápenných omítkách, kde zlepšuje mechanické vlastnosti a zvyšuje odolnost proti mrazu. [27]

3.5.2.2. Elektrárenské popílký

Popílký jsou nerostné zbytký po spalování tuhých paliv ve formě velmi malých částic. Elektrárenské popílký vznikají při spalování černého nebo hnědého uhlí, a to buď v režimu vysokoteplotního spalování, nebo fluidním režimem

spalování (ve vzhledu). Optimálnějších vlastností pro využití tohoto pucolánu dosahuje právě vysokoteplotní popílek. Je tvořen sklovitými částicemi kulovitého tvaru o průměru 1–100 μm a dosahuje měrného povrchu 200–300 $\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-1}$. Obsahuje SiO_2 převážně v amorfni formě, ten pak je příčinou jeho pucolánových vlastností. [27]

3.5.2.3. Křemičité úlety – mikrosilika

Křemičité úlety jsou vedlejším produktem při výrobě křemíku, ferosilicia a dalších slitin křemíku. Mají mimořádně vysoký měrný povrch 15000–20000 $\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-1}$. Obsahují 80–98 % amorfniho SiO_2 , zrna mají průměr 0,1–0,2 μm . Dále se může vyskytovat CaO , Fe_2O_3 a stopy uhlíku. [27]

3.5.2.4. Granulovaná vysokopecní struska

Jedná se o sekundární produkt vznikající při výrobě železa, jak uvádí kapitola 3.2.3.1.

3.5.2.5. Cihelný prach a drť

Rozumíme jím odpadní materiál vznikající při broušení cihel nebo při drcení cihelného recyklátu. Více pojednává kapitola 3.2.3.2.

II. Experimentální část

4. Cíl práce

Cílem práce je výzkum v oblasti přípravy zdících malt. Konkrétně se jedná o ověření technologických vlastností navržených surovinových směsí a provedení optimalizace dávkování jednotlivých složek a modifikujících přísad.

5. Metodika

V návaznosti na předchozí etapu řešení ÚTHD FAST VUT Brno, jejímž předmětem byla ověřená koncepce základní surovinové báze a návrh modifikujících přísad, bylo konkrétní náplní bakalářské práce sledování vlivu provzdušňovací přísady a příměsi nahrazující standartní pojivové složky na vlastnosti navržených maltových směsí.

6. Postup prací

Nejprve byly navrženy receptury na dané směsi malt pro zdění. Po dodání potřebných surovin byly započaty zkušební práce. Byly navrženy 4 referenční receptury a 4 modifikované receptury malt pro zdění.

Tabulka 7: Navržené referenční receptury malt pro zdění

REFERENČNÍ RECEPTURY					
	REF I	REF II		REF III	REF IV
suroviny	[%]	[%]	suroviny	[%]	[%]
CEM II 32,5 R	10	20	CEM I 42,5 R	10	20
Vápenný hydrát	4,5	4,5	Vápenný hydrát	4,5	4,5
Kamenivo 0-0,8	36,5	26,5	Kamenivo 0-0,8	36,5	26,5
Kamenivo 0,8 - 1,6	15	15	Kamenivo 0,8 - 1,6	15	15
Kamenivo 1,6 - 2,0	8	8	Kamenivo 1,6 - 2,0	8	8
Kamenivo 2,0 - 4,0	26	26	Kamenivo 2,0 - 4,0	26	26

Tabulka 8: Navržené modifikované receptury malt pro zdění

MODIFIKOVANÉ RECEPTURY					
	SM 1	SM 2		SM 3	SM 4
suroviny	[%]	[%]	suroviny	[%]	[%]
CEM II 32,5 R	10	20	CEM II 42,5 R	10	20
Vápenný hydrát	1,2	1,2	Vápenný hydrát	1,2	1,2
Odprašky	11,8	6,8	Odprašky	11,8	6,8
Kamenivo 0 - 0,8	28	23	Kamenivo 0 - 0,8	28	23
Kamenivo 0,8 - 1,6	15	15	Kamenivo 0,8 - 1,6	15	15
Kamenivo 1,6 - 2,0	8	8	Kamenivo 1,6 - 2,0	8	8
Kamenivo 2,0 - 4,0	26	26	Kamenivo 2,0 - 4,0	26	26
Berolan LP 50	0,003	0,003	Berolan LP 50	0,003	0,003

Dané suroviny byly nadávkovány, zhomogenizovány a připraveny k provedení zkoušek.

Stanovení konzistence

Zkouška konzistence byla prováděna na střešacím stolku (viz obrázek 6) dle ČSN EN 1015-3. Do laboratorní míchačky bylo nalito určité množství vody, poté bylo přidáno 1500 g maltové směsi a začal homogenizační cyklus. Po skončení míchacího cyklu se malta nechala cca 2 minuty odstát a poté se lehce špachtlí promíchala. Do středu navlhčené desky střešacího stolku se umístil kovový kužel předepsaných rozměrů, který se ve dvou vrstvách naplnil maltovou směsí. Každá vrstva byla zhutněna 10 lehkými údery dusadla. Přebytková malta se setřela špachtlí a kužel se kolmo zvednul. Malta se poté 15 nárazy střešacího stolku rozlila. Měřítkem se změřili 2 kolmé průměry rozlité koláče a vypočetla se průměrná hodnota rozlité s přesností na 1 mm. Stanovení konzistence bylo provedeno několikrát na všech směsích, dokud se nedosáhlo podmínky rozlité 175 ± 10 mm.

Výroba zkušebních těles

V dalším kroku byly ze vzniklých malt vytvořeny trámečky normových rozměrů 40×40×160 mm. K tomu jsme použili ocelových forem (viz obrázek 7). Formy se naplnili maltou a poté zhutnily na vibračním stole. Hotová tělesa se označila a přikryla igelitovou fólií po dobu dvou dnů, jak stanovuje norma ČSN EN 1015-11. Po těchto dvou dnech se vzorky odformovaly, volně se uložily v laboratorním prostředí. Z předepsaného prostředí byly po 7 a 28 dnech hydratace odebírány a sloužily ke stanovení objemové hmotnosti a pevností v tahu za ohybu a tlaku.

Pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku

Pevnosti se stanovovaly po 7 a 28 dnech. Do zkušebního lisu se umístil přípravek na stanovení pevnosti v tahu za ohybu (viz obrázek 10). Přípravek musí mít dvě válcové podpory vzdálené 100 mm od sebe a třetí zatěžovací ocelový válec umístěný uprostřed. Na podpory se umístilo zkušební těleso a začalo zatěžování. Zatížení se zvyšovalo rovnoměrnou rychlostí v rozsahu 10–50 N·s⁻¹ až došlo k porušení. Výsledná pevnost v tahu za ohybu se vypočte dle vztahu:

$$R_f = 1,5 \cdot \frac{F \cdot l}{b \cdot h^2} [MPa]$$

Pevnost v tlaku byla stanovena na zlomcích zkušebních těles ze stanovení pevnosti v tahu za ohybu. Do zkušebního lisu se vložil přípravek na stanovení pevnosti v tlaku (viz obrázek 11). Zlomek trámečku se umístil mezi přitlačné desky přípravku. Rozměry přitlačných desek jsou 40×40 mm. Zatížení se vyvozovalo bez rázů rovnoměrnou rychlostí v rozsahu 50–500 N·s⁻¹ až do porušení tělesa. Výsledná pevnost v tlaku se vypočte dle vztahu:

$$R_c = \frac{F_c}{1600} [MPa]$$

Objemová hmotnost

Objemová hmotnost čerstvé malty byla stanovena při výrobě zkušebních těles. Objem formy byl znám, zjistila se hmotnost prázdné formy a hmotnost formy zaplněné maltou.

Objemová hmotnost ztvrdlé malty byla stanovena na trámcích normových rozměrů 40×40×160 mm připravených na zkoušku pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku. Jednotlivé vzorky byly zváženy a změřeny. Výsledná objemová hmotnost je dána poměrem hmotnosti a objemu vzorku, vypočte se z následujícího vztahu:

$$OH = \frac{m}{V} [kg \cdot m^{-3}]$$

Sypná hmotnost

Sypnou hmotnost maltové směsi jsem stanovil pomocí přístroje sestávajícího se z válcové nádoby o objemu jednoho litru, uzavírací klapky a násypky s pérovou uzavírací pákou. Násypka se naplnila maltovou směsí, uzavírací pákou se otevřela plnicí klapka a násypka se odejmula. Přesahující maltová směs se odstranila pravítkem a stanovila se hmotnost směsi v nádobě. Výsledná hodnota je průměr ze tří stanovení a udává se v kilogramech na metr krychlový.

Sítový rozbor

Ze za sucha zhomogenizované maltové směsi byl odebrán vzorek 250 g, který byl podroben sítovému rozboru. Byla použita sada normových sít se čtvercovými oky o rozměrech 4; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,125; 0,063 mm. Zbytky na sítích byly zváženy a zaznamenány. Poté byla sestaveny křivky zrnitosti jednotlivých směsí.

7. Použité suroviny a přístroje

7.1. Suroviny

Při experimentálních pracích byly pro základní pojivou bázi využívány cementy CEM I 42,5 R a CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R společnosti Českomoravský cement, a.s. závod Mokrá. Chemické složení je uvedeno v tabulkách 5 a 6.

Tabulka 9: Chemické složení cementu CEM I 42,5 R Mokrá [28]

Chemické složení [%]								
CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Cl ⁻	K ₂ O	Na ₂ O
64,2	19,5	4,7	3,2	1,3	3,2	0,05	0,8	0,1

Tabulka 10: Chemické složení cementu CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R Mokrá [29]

Chemické složení [%]								
CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Cl ⁻	K ₂ O	Na ₂ O
60,5	22,3	5,1	2,9	2,5	2,8	0,06	0,7	0,1

Dále byl používán Profi vápenný hydrát (Profi Jurat Kalk) společnosti Profibaustoffe CZ, s.r.o. Vhodný pro použití do zdících a maltových směsí a ke stabilizaci zeminy.

Tabulka 11: Chemické složení Profi vápenného hydrátu (Jurat Kalk) [30]

Chemické složení [%]			
CaO + MgO	MgO	CO ₂	SO ₃
≥ 93,1	≤ 5,0	≤ 4,0	≤ 4,0
Sypná hmotnost: cca 425 kg · m ⁻³			

Poslední složkou pojivové báze byly kamenné odprašky z Lomu Kámen Zbraslav, a.s. z Předklášteří. Jedná se o svrateckou ortorulu. Mineralogické složení se sestává především z křemene, živců, muskovitických slíd a chloritů.

Maltová směs byla modifikována provzdušňovací přísadou Berolan LP 50 společnosti HSH Chemie Praha. Jedná se o práškovou přísadu na bázi laurylsulfonanu sodného. Obvykle dávkuje množství do 0,1 %.

7.2. Použité přístroje

V průběhu prací bylo využíváno přístrojů a pomůcek, jimiž byly vybaveny laboratoře ÚTHD FAST VUT Brno, neboť zde probíhal celý experiment.

- Laboratorní váhy s přesností na 0,01 g, viz obrázek 2
- Analytické váhy, viz obrázek 3
- Laboratorní míchačka, viz obrázek 4
- Střásací stolek, dle ČSN EN 1015-3, viz obrázek 6
- Formy na zkušební tělesa, viz obrázek 7
- Vibrační stůl
- Zatěžovací lis, viz obrázek 5
- Přípravky do zatěžovacího lisu na stanovení pevnosti v tlaku a tahu, viz obrázek 8, 9
- Přístroj na stanovení sypné hmotnosti sestávající se z válcové nádoby o objemu 1 litru, uzavírací klapky a násypky s pérovou uzavírací pákou, viz obrázek 10
- Posuvné měřítko. Viz obrázek 12
- Sada normových sít, viz obrázek 11



Obrázek 3: Laboratorní váhy



Obrázek 2: Analytické váhy



Obrázek 4: Laboratorní míchačka



Obrázek 5: Zatěžovací lis



Obrázek 6: Sřásací stolek



Obrázek 7: Forma na zkušební tělesa



Obrázek 8: Přípravek na stanovení pevnosti v tlaku



Obrázek 9: Přípravek na stanovení pevnosti v tahu za ohybu



Obrázek 10: Přístroj na stanovení sypné hmotnosti



Obrázek 11: Sada sít



Obrázek 12: Posuvné měřítko

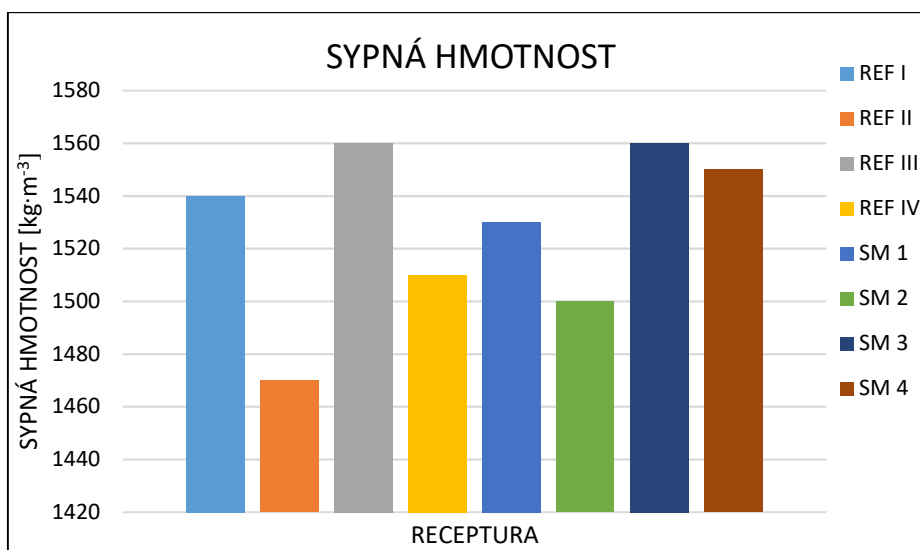
8. Vyhodnocení výsledků

8.1. Sypná hmotnost a granulometrický rozbor suché maltové směsi

Sypná hmotnost jednotlivých vzorků suchých maltových směsí je uvedena v tabulce 12 a grafu 1.

Tabulka 12: Sypná hmotnost suchých maltových směsí

označení směsi	Sypná hmotnost [kg·m ⁻³]
REF I	1540
REF II	1470
REF III	1560
REF IV	1510
SM 1	1530
SM 2	1500
SM 3	1560
SM 4	1550



Graf 1: Sypná hmotnost suchých maltových směsí

Na základě výsledků uvedených v tabulce 12 lze odečíst:

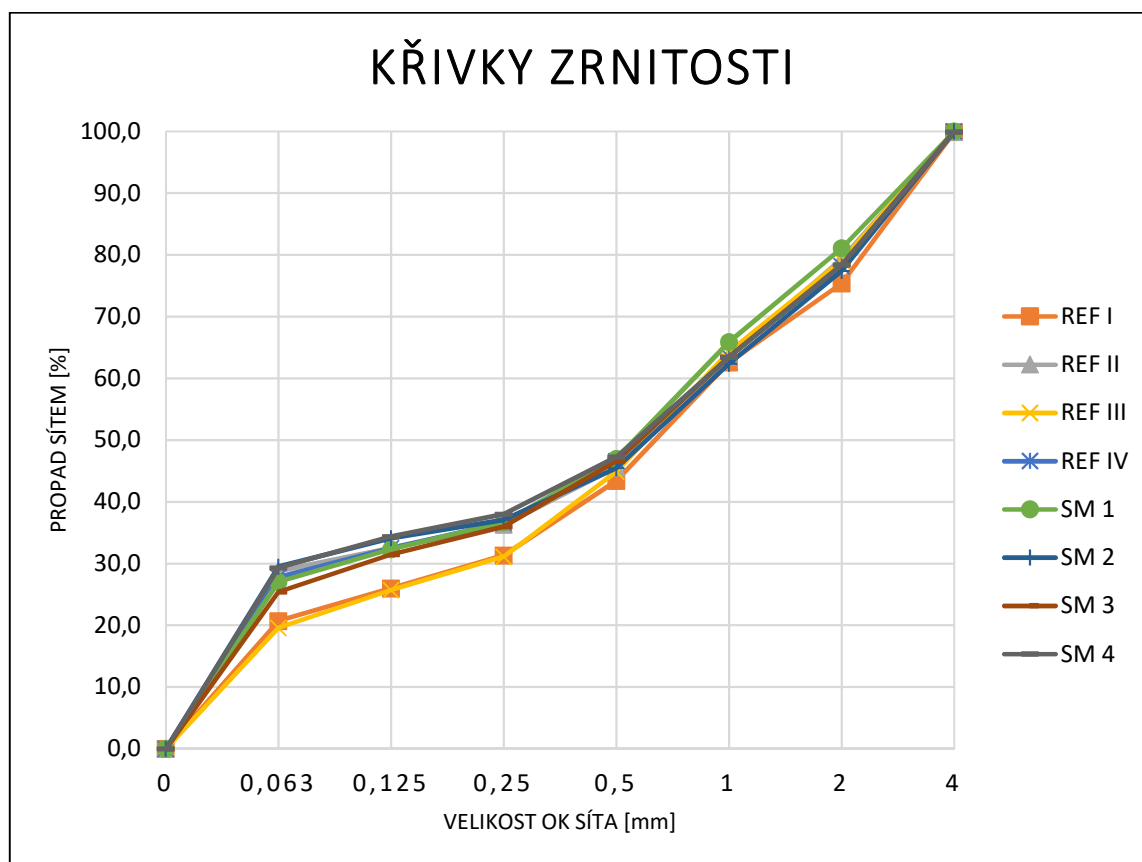
- Že, směsi obsahující menší množství vápenného hydrátu, dosáhly větších hodnot. Je to způsobeno malou sypnou hmotností vápenného hydrátu. Rovněž nižší sypná hmotnost cementu oproti sypné hmotnosti kameniva ovlivnila výsledky. Což se projevilo u směsí REF II, REF IV a SM 3.

- Nejnižší hodnoty sypané hmotnosti dosáhla směs REF II a naopak nejvyšší hodnoty dosáhly směsi REF III a SM 3.

Granulometrie jednotlivých suchých maltových směsí byla stanovena pomocí síťového rozboru. Hodnoty jsou zaznamenány v tabulce 13 a byly sestaveny křivky zrnitosti v grafu 2.

Tabulka 13: Síťové rozборы jednotlivých maltových směsí

velikost síta [mm]	Propad sítem [%]							
	REF I	REF II	REF III	REF IV	SM 1	SM 2	SM 3	SM 4
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,063	20,7	28,8	19,6	27,8	27,0	29,5	25,4	29,3
0,125	26,0	32,5	25,7	32,5	32,3	34,1	31,5	34,4
0,25	31,3	36,3	31,1	36,6	36,7	37,1	36,0	38,0
0,5	43,4	45,6	44,9	46,6	47,0	45,5	46,6	47,3
1	62,6	63,5	64,3	63,5	65,9	62,4	63,5	63,4
2	75,4	79,4	79,1	78,2	81,1	77,4	78,4	78,4
4	99,9	99,9	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	99,9



Graf 2: Křivky zrnitosti maltových směsí

Z výsledků síťového rozboru a grafického znázornění vyplývá:

- Se zvyšujícím se množstvím cementu klesá podíl hrubozrnných částic, a naopak roste podíl jemnozrnných podílů. Proto můžeme soudit, že směsi obsahující nejvíce jemných podílů budou dosahovat nejvyšších hodnot vodního součinitele.
- Dle výsledků lze odvodit, že druh cementu nemá na zrnitost malty vliv, rozdíly v propadech síty směsí s rozdílnými cementy jsou takřka zanedbatelné.

8.2. Množství záměsové vody a rozlití

Množství záměsové vody, pro získání konstantní konzistence, se stanoví z výpočtu tzv. vodního součinitele.

$$w = \frac{m_v}{m_s} [-]$$

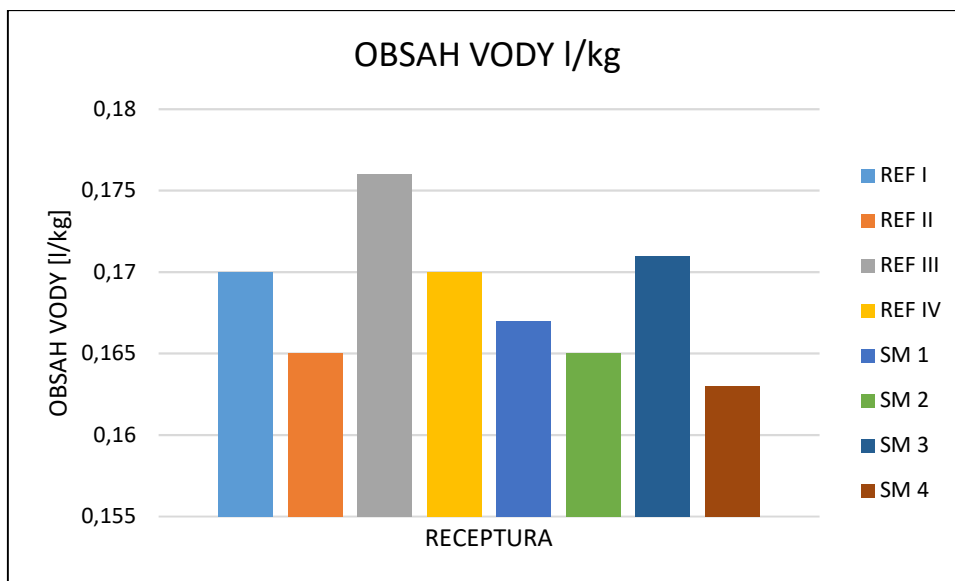
m_s – množství vody v kg

m_s – množství suché maltové směsi v kg

Hodnoty vodního součinitele a konzistence jsou uvedeny v tabulce 14 a v grafu 3.

Tabulka 14: Vodní součinitel a konzistence maltových směsí

označení vzorku	vodní součinitel [-]	rozlití [mm]
REF I	0,17	165×165
REF II	0,165	165×165
REF III	0,176	165×165
REF IV	0,17	167×167
SM 1	0,167	170×170
SM 2	0,165	170×170
SM 3	0,171	171×171
SM 4	0,163	170×170



Graf 3: Množství záměsové vody

Na základě dosažených výsledků lze konstatovat:

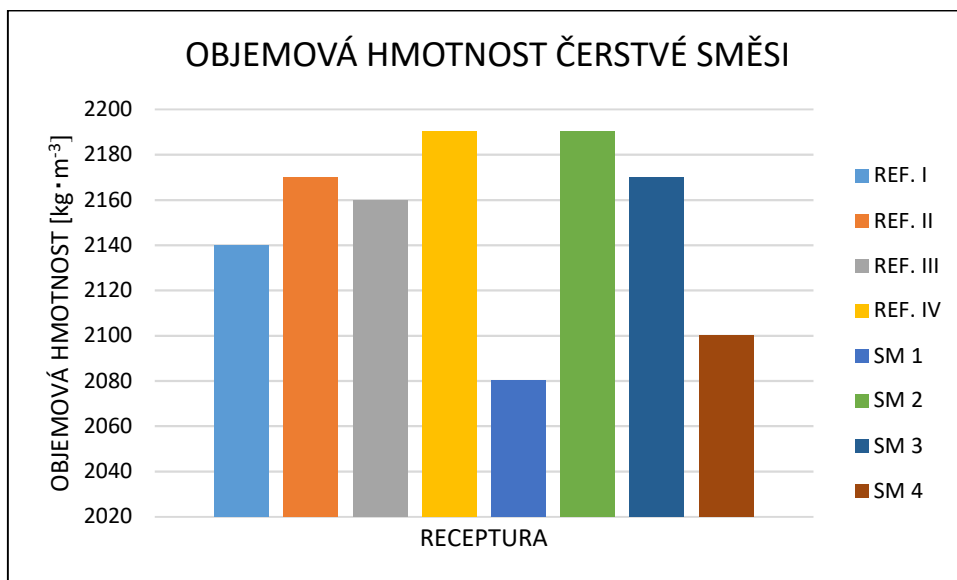
- Při konstantní hodnotě konzistencí u referenčních směsí malt množství vody neudává jednoznačný trend. Lze jen konstatovat, že s množstvím cementu klesá množství záměsové vody nutné k dosažení konstantní konzistence. Dále je možné si povšimnout rozdílu mezi jednotlivými cementy. Při použití cementu CEM I 42,5 je nutné použít větší množství záměsové vody.
- U modifikovaných směsí se dosáhlo podobných hodnot jako u směsí referenčních, ale při mírně vyšší hodnotě rozlití koláče. Způsobila to modifikace směsí provzdušňovací přísadou Berolan. Opět se projevil fakt, že s množstvím cementu klesá množství záměsové vody.

8.3. Objemová hmotnost čerstvé směsi

Stanovené objemové hmotnosti čerstvých směsí malt jsou uvedeny v tabulce 15 a jsou graficky znázorněny v grafu 4.

Tabulka 15: Objemová hmotnost čerstvých malt

označení směsi	Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]
REF I	2140
REF II	2170
REF III	2160
REF IV	2190
SM 1	2080
SM 2	2190
SM 3	2170
SM 4	2100



Graf 4: Objemová hmotnost čerstvých maltových směsí

Ze zjištěných výsledků je patrné:

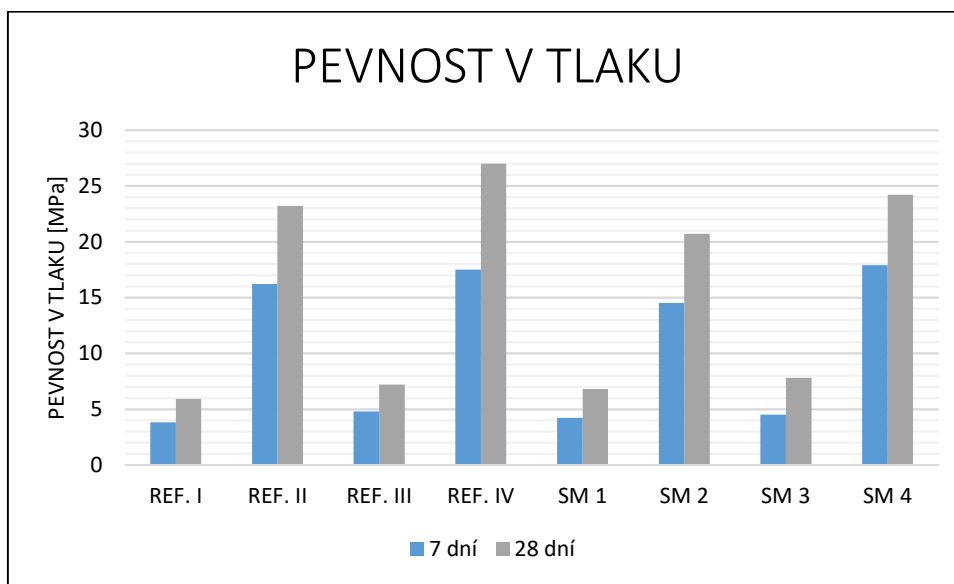
- Objemová hmotnost čerstvých maltových směsí roste na základě množství a druhu použitého cementu ve směsi, při použití CEM I 42,5 dosáhneme vyšší objemové hmotnosti než při použití CEM II 32,5 R.
- U modifikovaných směsí se mělo dosáhnout nižších hodnot než u směsí referenčních, protože směsi byly modifikovány provzdušňovací přísadou. U směsí SM 1 a SM 4 se tak stalo, ale u směsí SM 2 a SM 3 se dosáhlo podobných hodnot jako u referenčních směsí.

8.4. Objemová hmotnost a pevnosti po 7 a 28 dnech hydratace

Výsledné hodnoty objemové hmotnosti ztvrdlé malty, pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku po 7 a 28 dnech hydratace jsou uvedeny v tabulce 16 a grafické znázornění pevnosti v tlaku po 7 a 28 dnech je znázorněno v grafu 5.

Tabulka 16: Objemová hmotnost ztvrdlé malty a pevnosti v tlaku a tahu za ohybu po 7 a 28 dnech hydratace

označení vzorku	objemová hmotnost ztvrdlé malty [kg·m ⁻³]		pevnost v tlaku [MPa]		pevnost v tahu za ohybu [MPa]	
	7 dní	28 dní	7 dní	28 dní	7 dní	28 dní
REF I	1970	1930	3,8	5,9	1,1	2,1
REF II	2060	2000	16,2	23,2	4,8	6,6
REF III	1950	1920	4,8	7,2	1,3	2,4
REF IV	2060	2040	17,5	27,0	4,9	6,1
SM 1	1980	1920	4,2	6,8	1,3	2,4
SM 2	2040	1930	14,5	20,7	4,4	6,1
SM 3	1920	1930	4,5	7,8	1,5	2,7
SM 4	2040	1970	17,9	24,2	5,1	6,0



Graf 5: Srovnání pevnosti v tlaku po 7 a 28 dnech hydratace

Na základě dosažených výsledků lze učinit tyto závěry:

- Při porovnání objemových hmotností jednotlivých ztvrdlých malt nemůžeme určit jednoznačné závěry. Lze jen určit, že malty obsahující více cementu dosahují po 7 dnech hydratace vyšší hodnoty objemové hmotnosti. Po 28

dnech hydratace tato závislost je méně patrná. Dále lze určit, že objemová hmotnost po 28 dnech hydratace je nižší oproti hodnotám po 7 dnech. Je to způsobeno výparem a spotřebou vody na hydratační jevy.

- Hlavním nositelem pevností v tlaku jednotlivých malt je cement. Ve směsích s vyšším obsahem cementu se dosáhlo vyšších hodnot pevností v tlaku, a to jak po 7 tak i po 28 dnech. Dalším ukazatelem je použitý druh cementu. Při použití cementu s rychlejším nástupem pevností a vývinem vyššího hydratačního tepla (CEM I 42,5 R) se dosáhlo vyšších pevností. Dále je zřejmé, že pevnosti po 7 dnech musí být nižší oproti pevnostem po 28 dnech. Hmota stále hydratuje a nabývá pevnosti. Porovnáme-li směsi referenční se směsi modifikovanými dospějeme k závěru, že 7denní pevnosti směsí REF I, REF III, SM 1 a SM 3 se liší jen v řádech desetin, po 28 dnech jsou rozdíly lehce vyšší a lze konstatovat, že pevnosti modifikovaných malt jsou vyšší než referenční. Při porovnání ostatních směsí REF II, REV IV, SM 2 a SM 4 dospějeme k názoru, že 7denní pevnosti jsou opět téměř stejné, jen u směsi SM 2 je znát mírný pokles oproti ostatním směsím, a vyšší pevnosti po 28 dnech dosáhly směsi referenční. Vůbec nejvyšší pevnosti po 7 dnech dosáhla modifikovaná malta SM 4, ale po 28 dnech se dosáhlo nejvyšší pevnosti v tlaku u malty referenční REF IV. Naopak nejnižší pevnosti v tlaku po 7 i 28 dnech dosáhla malta referenční REF I.
- Pevnosti v tahu za ohybu korespondují s dosaženými pevnostmi v tlaku. U malt s vyšším obsahem cementu a při použití cementu s rychlejším nástupem pevností a vyšším vývinem hydratačního tepla dosáhneme vyšších pevností i v tahu za ohybu. Nejvyšší hodnoty této pevnosti po 7 dnech hydratace dosáhla malta SM 4 a po 28 dnech hydratace dosáhla nejvyšší pevnosti malta REF II.

8.5. Aplikační zkouška

Aplikační zkouška spočívala v nanesení jednotlivých maltových směsí na povrch polystyrenové desky a v sledování, či při aplikaci, tuhnutí nebo tvrdnutí malty nedochází ke tvorbě trhlin, případně jiných kazů, a jestli nedošlo k projevení dalších negativních vlastností. Po 7 dnech bylo provedeno posouzení, zdali se projevilo některé z výše uvedených negativ, jak dokazují fotografie na obrázcích 13 a 14.



Obrázek 13: Aplikace čerstvé malty



Obrázek 14: Vzorky po 7 dnech hydratace

Z pozorování a pořízených fotografií vzorků malt je zřejmé:

- Při míchání maltové směsi ani při nanesení na povrch desky nedocházelo k oddělování cementového mléka od kameniva tzv. bleedingu. Dále pak nepozorujeme tvorbu vzduchových bublinek či puchýřků, od provzdušňovací přísady, na povrchu malt. Rovněž nepozorujeme tvorbu žádných trhlin. Nedochází ke drolení malty a malta je pevně přichycena k povrchu polystyrenové desky.

9. Diskuze výsledků

Na základě dosažených výsledků lze konstatovat:

- Srovnáním technologických vlastností navržených referenčních a modifikovaných směsí zjistíme, že modifikované směsi dosáhly srovnatelných vlastností a v některých ohledech předčily referenční směsi.
- Použití provzdušňovací přísady je nezbytné pro zajištění dostatečného množství vzduchu v maltové směsi. Provzdušnění mělo pozitivní vliv na konzistenci, redukci záměsové vody a rovněž upravuje plasticitu maltové směsi. Naopak negativně se její použití projevuje při stanovení pevností.
- Hodnoty objemové hmotnosti čerstvé malty měli dle předpokladu vzestupný trend u referenčních směsí a u směsí modifikovaných měly být tyto hodnoty nižší. U směsí SM 2 a SM 3 se tak nestalo. Je možné, že došlo k chybě při měření nebo při provádění zkoušky. Neboť při porovnání objemové hmotnosti ztvrdlé malty jsou tyto hodnoty nižší.
- Podle dosažených pevností v tlaku lze zařadit malty do 2 pevnostních tříd dle normy ČSN EN 998-2. Směsi referenční i modifikované s obsahem 10 % cementu vyhovují podmínkám pro třídu M 5 a směsi s obsahem 20 % vyhovují podmínkám třídy M 20. Nahrazení části vápenného hydrátu a redukcí nejjemnější frakce kameniva kamennými odprašky a provzdušňovací přísadou se ukázalo jako velice dobrý tah. Protože u směsí takto modifikovaných s nižším obsahem cementu došlo k nárůstu pevností v tlaku. Směsi s vyšším obsahem cementu, ale stejnou modifikací, sice prokázaly menší pevnosti, ovšem propad to není nějak dramatický, činil cca 10 % oproti pevnostem referenčních směsí.
- Množství vody má negativní dopad na výsledné pevnosti, proto je možné, že výsledné pevnosti modifikovaných směsí byly touto skutečností ovlivněny. Neboť bylo použito srovnatelné množství vody, provzdušňovací přísada a průměr rozlití koláče byl vyšší a výsledné pevnosti poté nižší.

10. Závěr

V závěru můžeme konstatovat, že cíl bakalářské práce, kterým bylo vypracování studie v oblasti přípravy zdících malt, ověření technologických vlastností navržených maltových směsí a optimalizování množství jednotlivých surovin a modifikujících přísad, byl splněn.

V rámci experimentálních prací byly sledovány vlivy vstupních parametrů, tj. dávky cementu, vápenného hydrátu, množství příměsí kamenných odprašků, modifikující přísady a granulometrie kameniva na technologické vlastnosti navržených zdících malt. Hlavní důraz byl kladen na sledování vlivu cementu v závislosti na jeho množství a na použitém druhu.

Z dosažených výsledků, uvedených v předchozích kapitolách, je patrné, že dávka modifikující provzdušňovací přísady Berolan LP 50 je dostatečná. Bylo dosaženo dobré zpracovatelnosti malt a negativa způsobená jejím použitím se projevovala minimálně nebo vůbec. Dále je z výsledků patrné, že s vyšší dávkou cementu roste pevnost v tlaku. V tomto případě se dosáhlo zbytečně vysokých pevností v tlaku u směsí s vyšší dávkou cementu, bylo dosaženo pevnostní třídy M 20. Tyto maltové směsi se stávají neekonomické pro běžné použití. Směsi s nižší dávkou cementu vyhovují podmínkám pro třídu M 5 a jsou vhodné k použití pro běžné zdění.

Pro další vývoj v této oblasti je vhodné se zaměřit na snížení dávky cementu, a aby bylo dosaženo nižších pevnostních tříd a tyto malty se staly méně ekonomicky nákladné. Dále je možné zvážit využití některých dalších příměsí, jež by nahradily cement nebo využít některou vodu redukující přísadu, která by vedla ke zvýšení pevností navržených směsí s nižší dávkou cementu. Ovšem i zde bude rozhodující hledisko ekonomické efektivity výroby.

Seznam použité literatury:

- [1] ADÁMEK, Jiří, Jan KOUKAL a Bohumil NOVOTNÝ. *Stavební materiály*. Brno: CERM, 1997. Učební texty vysokých škol. ISBN 8021406313.
- [2] SVOBODA, L. a kol. *Stavební hmoty*. Praha: 2013, 950 s. ISBN 978-80-260-4972-2.
- [3] ČSN EN 998-2. *Specifikace malt pro zdivo – část 2: Malty pro zdění*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2003.
- [4] ZKOUŠENÍ STAVEBNÍCH HMOT A VÝROBKŮ: Malty [online]. Vysoká škola báňská [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://homel.vsb.cz/~khe0007/opory/opory.php?stranka=malty>
- [5] Čerstvé malty MALMIX – osvědčené řešení pro zdění. *IMateriály* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: http://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/informace-vyrobcu/cerstve-malty-malmix-osvedcene-reseni-pro-zdeni_42680.html
- [6] *Cihlářský lexikon. 2. vyd.* České Budějovice: Cihlářský svaz Čech a Moravy, 2007.
- [7] ČSN EN 998-1 *Specifikace malt pro zdivo – část 1: Malty pro vnitřní a vnější omítky*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2003.
- [8] HLAVÁČ, Jan. *Základy technologie silikátů: celostátní vysokoškolská příručka pro studenty oboru 27-06-8 Technologie silikátů. 2. upr. vyd.* Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1988.
- [9] PEREIRA, M. P., J. B. AGUIAR, A. CAMOES a P. B. LOURENCO. *Influence of type of binder and sand on the characteristics of masonry mortars*. *Revista Romana de Materiale*. 2015, 45(2), 117-122. ISSN 1583-3186.
- [10] XU, Shuqiang, Julin WANG a Yanzhong SUN. *Effect of water binder ratio on the early hydration of natural hydraulic lime*. *Materials and Structures* [online]. 2015, 48(10), 3431-3441 [cit. 2017-04-17]. DOI: 10.1617/s11527-014-0410-8. ISSN 13595997. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1617/s11527-014-0410-8>
- [11] PTÁČEK, Petr. *Praktikum z preparativních a testovacích metod I.: soubor návodů pro laboratorní cvičení ze zkušebních metod stavebních a technických pojiv – cementu, vápna, sádky a vodního skla*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2012. ISBN 9788021443921.

- [12] ČSN EN 459-1. *Stavební vápno: Část 1: Definice, specifikace a kritéria shody*. 3. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
- [13] BABÍKOVÁ, B. *Hodnocení vlastností vápenných malt*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2016. 46 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Opravil, Ph.D.
- [14] NOVÁK, Jaroslav. *Nauka o materiálech 10: stavební materiály I*. Praha: ČVUT, 1997. ISBN 8001016196.
- [15] *Anorganická pojiva: Cement* [online]. Vysoká škola báňská [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/anorganicka_pojiva.html#cementy
- [16] BROŽOVSKÝ, J., MARTINEC, P., MATĚJKA, O. *Ověření využitelnosti odprašků z výroby kameniva jako součást cementů pro zdění. In RECYCLING 2005*. Brno: 2005. s. 96-101. ISBN: 80-214-2875-9.
- [17] ČSN EN 413-1 *Cement pro zdění – Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody*. Praha: Český normalizační institut, 2011
- [18] *Lehké betony a malty* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <https://www.mct.cz/soubor/lehke-betony-a-malty/>
- [19] DROCHYTKA, R. *Přednášky Lehké stavební látky*. 2016.
- [20] DEUTSCHOVÁ, Michaela. *Využití odpadů ve stavebnictví*. Brno, 2008. Bakalářská práce. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav zemědělské, potravinářské a environmentální techniky.
- [21] FRIDRICHOVÁ, Marcela, Karel DVOŘÁK a Rudolf FRIDRICH. *Omítky*. Brno: ERA group, 2004. Stavíme. Stavba. ISBN 80-7366-004-0.
- [22] *Přísady do betonů a malt I* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <https://www.mct.cz/soubor/prisady-do-betonu-i/>
- [23] CHEMICKÉ PŘÍSAKY DO BETONU A MALT. In: *ABS-portal.cz* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/fotogalerie/stavebnictvi/chemicke-prisady-do-betonu-amalt-fotoalbum/chemicke-prisady-do-betonu-amalt-1>
- [24] *Přísady do betonů a malt II* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <https://www.mct.cz/soubor/prisady-do-betonu-ii/>
- [25] *Přísady do betonů a malt III* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <https://www.mct.cz/soubor/prisady-do-betonu-iii/>

- [26] ROVNANÍKOVÁ, P. *Omítky*. 1. vydání, Praha: Společnost pro technologie ochrany památek, 2002. 89 s. ISBN 80-86657-00-0.
- [27] HELA, R. *Technologie betonu II Modul 01*. Brno: VUT FAST v Brně, 2008. 148 s
- [28] *Technický list produktu: CEM I 42,5R* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.heidelbergcement.cz/cs/cement/baleny-cement/cemi425r>
- [29] *Technický list produktu: CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.heidelbergcement.cz/cs/cement/baleny-cement/cemiibmsll325r>
- [30] *Technický list produktu: PROFI Vápenný hydrát – Jurat Kalk* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.profibaustoffe.com/cze/Czech/PRODUKTY/Specialni-produkty/Vapenne-produkty/PROFI-Vapenny-hydrat-Jurat-Kalk>

Seznam obrázků:

Obrázek 1: Princip působení plastifikační přísady	31
Obrázek 2: Analytické váhy	41
Obrázek 3: Laboratorní váhy	41
Obrázek 4: Laboratorní míchačka	42
Obrázek 5: Zatěžovací lis	42
Obrázek 6: Střásací stolek	42
Obrázek 7: Forma na zkušební tělesa.....	42
Obrázek 8: Přípravek na stanovení pevnosti v tlaku	42
Obrázek 9: Přípravek na stanovení pevnosti v tahu za ohybu	42
Obrázek 10: Příklad na stanovení sypané hmotnosti	43
Obrázek 11: Sada sít.....	43
Obrázek 12: Posuvné měřítko	43
Obrázek 13: Aplikace čerstvé malty	51
Obrázek 14: Vzorky po 7 dnech hydratace	52

Seznam grafů:

Graf 1: Sypaná hmotnost suchých maltových směsí.....	44
Graf 2: Křivky zrnitosti maltových směsí.....	45
Graf 3: Množství záměsové vody	47
Graf 4: Objemová hmotnost čerstvých maltových směsí.....	48
Graf 5: Srovnání pevnosti v tlaku po 7 a 28 dnech hydratace	49

Seznam tabulek:

Tabulka 1: Třídy malt [3].....	13
Tabulka 2: Popis normových požadavků dle ČSN EN 998-2. [3].....	20
Tabulka 3: Druhy vzdušného vápna [12]	22
Tabulka 4: Třídy a vlastnosti hydraulických vápen [12]	24
Tabulka 5: Třídy a složení cementů pro zdění [17].....	26
Tabulka 6: Požadavky na fyzikálně mechanické charakteristiky cementů pro zdění [17]	26
Tabulka 7: Navržené referenční receptury malt pro zdění.....	37
Tabulka 8: Navržené modifikované receptury malt pro zdění.....	38
Tabulka 9: Chemické složení cementu CEM I 42,5 R Mokrý [28]	40
Tabulka 10: Chemické složení cementu CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R Mokrý [29] ...	40
Tabulka 11: Chemické složení Profi vápenného hydrátu (Jurat Kalk) [30]	40
Tabulka 12: Sypná hmotnost suchých maltových směsí	44
Tabulka 13: Sítové rozborů jednotlivých maltových směsí	45
Tabulka 14: Vodní součinitel a konzistence maltových směsí	46
Tabulka 15: Objemová hmotnost čerstvých malt.....	48
Tabulka 16: Objemová hmotnost ztvrdlé malty a pevnosti v tlaku a tahu za ohybu po 7 a 28 dnech hydratace	49